

***Títol: Dotació d'expressions facials a un robot humanoide***

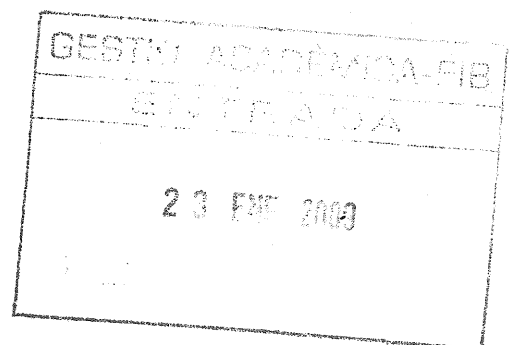
***Volum: 1***

***Alumne: Juan Pedro López Cabrera***

***Director/Ponent: Juan Climent Vilaró***

***Departament: ESAII***

***Data: 30-01-2009***





*Als meus pares i el meu germà,*

*que m'han fet qui sóc,*

*i a la meva Ariadna,*

*que és el meu motor diari.*

*No sé què faria sense ells.*

# Continguts

|  |    |
|--|----|
| 1. Introducció.....                            | 8  |
| Una mica d'història.....                       | 8  |
| Projecte URUS.....                             | 10 |
| Els robots Tibi i Dabo.....                    | 13 |
| Acceptació emocional i cultural.....           | 13 |
| Vocació de servei.....                         | 15 |
| Referència subtil al context del projecte..... | 15 |
| Dignificació del seu origen robòtic.....       | 17 |
| Fotogènia i pregnància.....                    | 17 |
| Esquemes formals.....                          | 18 |
| L'ànima: origen comú de Tibi i Dabo.....       | 18 |
| Colors i formes.....                           | 19 |
| Resultat final: Tibi.....                      | 19 |
| 2. Requeriments del projecte.....              | 20 |
| Expressions facials.....                       | 20 |
| No podia ser mecànic.....                      | 23 |
| Alimentació de les trames de LEDs.....         | 23 |
| Control i comunicació.....                     | 25 |
| 3. Disseny del sistema.....                    | 26 |
| LEDs.....                                      | 26 |
| Control dels LEDs.....                         | 26 |
| Color dels LEDs.....                           | 29 |
| Característiques lumíniques.....               | 30 |
| Microcontrolador.....                          | 31 |
| Plataforma Arduino.....                        | 31 |
| Altres components.....                         | 36 |
| Optoacobladors.....                            | 36 |
| 4. Implementació del sistema.....              | 37 |
| Prototipus.....                                | 37 |
| Circuit electrònic.....                        | 37 |
| Firmware.....                                  | 38 |
| Aplicatiu per al PC.....                       | 41 |
| Construcció.....                               | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Troubleshooting.....                                 | 41 |
| Sistema final.....                                   | 42 |
| Circuit electrònic.....                              | 42 |
| Firmware.....  | 44 |
| Aplicatiu per al PC.....                             | 45 |
| Construcció.....                                     | 45 |
| Troubleshooting.....                                 | 45 |
| 5. Integració en el Projecte URUS.....               | 46 |
| Sistema de subjecció facial.....                     | 46 |
| Disseny.....   | 46 |
| Construcció.....                                     | 46 |
| Encapsulament YARP.....                              | 47 |
| Què és YARP?.....                                    | 47 |
| Dispositiu YARP.....                                 | 48 |
| 6. Pressupost.....                                   | 49 |
| Apèndix A: Entorn de desenvolupament.....            | 50 |
| Instal·lació de l'IDE per a Arduino.....             | 50 |
| Instal·lació de l'entorn Python (Mac OS X 10.4)..... | 54 |
| Instal·lació de l'entorn Python (Ubuntu 8.10).....   | 54 |
| Apèndix B: Especificació dels components.....        | 55 |

# 1. Introducció

## *Una mica d'història*

Encara que quan parlem de robots humanoides pensem en móns futuristes com Blade Runner, Star Wars o Terminator, sorprén descobrir que fa milers d'anys que els robots amb aparença humana formen part de la nostra cultura. Els podem trobar en forma d'homes de fang animats com el Golem de la mitologia hebrea o els servents mecànics que es va fabricar Vulcà, el deu grec del foc i els metalls: l'èsser humà sempre ha donat voltes a la idea de donar vida a éssers artificials que l'ajudessin en tasques més o menys desagradables, com son el treball o la guerra, o màquines que simplement el divertissin.

Malgrat aquest desig, realitzar aquestes fàbules no era una tasca fàcil, així que durant molt de temps ens vam haver de conformar amb senzills mecanismes basats en rellotges i neumàtica, com les invencions de Ctesibi d'Alexandria, amb estàtues capaces de jeure i tornar a aixecar-se. També els egipcis van incorporar braços mòbils a les seves estàtues. Aquests braços eren després operats pels sacerdots, que clamaven que aquest moviment era inspiració dels seus déus. Uns 1500 anys després va aparèixer el primer "humà" programable, de la mà de l'inventor àrab Al-Jazari, amb la seva banda musical formada per quatre autòmats capaços de tocar música pre-programada. Més endavant, durant el segle XV, Leonardo da Vinci va aportar el seu gra de sorra a la història

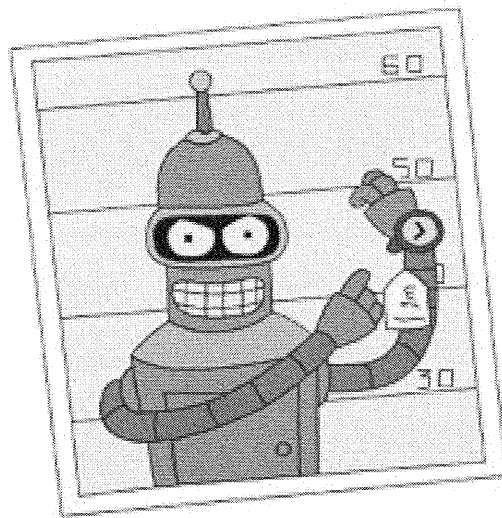


dels robots humanoides amb els seus dissenys d'un cavaller mecànic, que fins a on sabem no va intentar construir. Val a dir que en el disseny va fer servir les proporcions del seu home de Vitruvi, fet que dona importància al costat humà que da Vinci volia donar a la màquina. També eren famosos els rellotgers del segle XVIII per les seves sorprenents criatures mecàniques.

Arribat el segle XX, "s'inventa" la paraula robot, més ben dit, s'aplica el terme robot (treball en

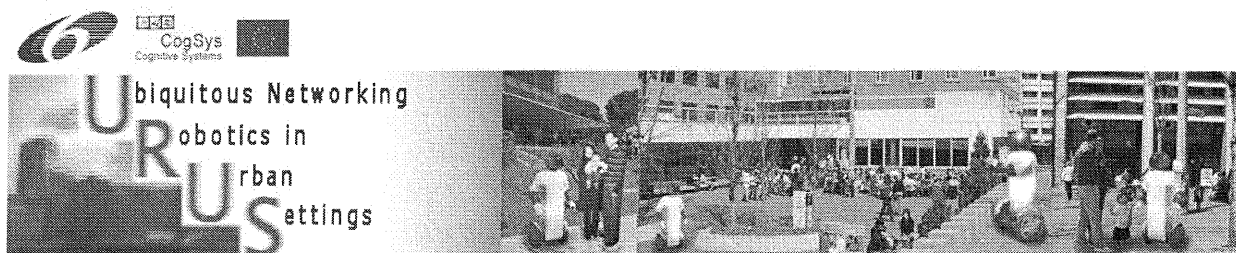
txec, entre d'altres llengües eslaves) als éssers artificials que habiten l'obra de ficció R.U.R., del txec Karel Capek. Durant aquest mateix segle, augmenten els esforços per humanitzar cada cop més els robots, amb la progressiva miniaturització de l'electrònica i l'aparició de materials sintètics similars a la pell humana: destaquen els robots creats al Japó, amb una mitologia animista, on la demografia i el rebuig als immigrants els ha portat a imaginar un futur ple de robots que tenen cura de nens i ancians.

Durant el segle XX, gràcies a la literatura i el cinema, el món de la robòtica humanoide ha viscut una època daurada, una explosió d'idees pel que fa als dissenys i possibilitats dels robots. És ara una missió per a la ciència transformar totes aquestes fantasies en una realitat, i iniciatives com el projecte URUS es fan cada cop més necessàries en un món que en el futur dependrà absolutament dels robots, robots que amb tota seguretat es comunicaran amb nosaltres amb paraules, gestos i mirades...



## Projecte URUS

Les ciutats d'Europa s'estan transformant en llocs on es fa difícil viure degut al soroll, la contaminació o la manca de seguretat. A més, ha augmentat l'edat mitjana dels seus habitants i dintre de poc hi haurà un nombre molt important de gent gran. Els ajuntaments s'estan conscienciant respecte a aquest problema i estan estudiant solucions, com per exemple augmentant el nombre d'àrees lliures de cotxes. Per exemple, aquestes àrees lliures de cotxes signifiquen ja una revolució en la planificació d'àrees urbanes, doncs imposen canvis en el transport de mercaderies, seguretat ciutadana, etc. El projecte URUS pretén estudiar i comprovar la idea d'incorporar una xarxa de robots (robots, sensors intel·ligents, dispositius de comunicació...) amb l'objectiu de millorar la qualitat de vida en aquestes àrees urbanes.



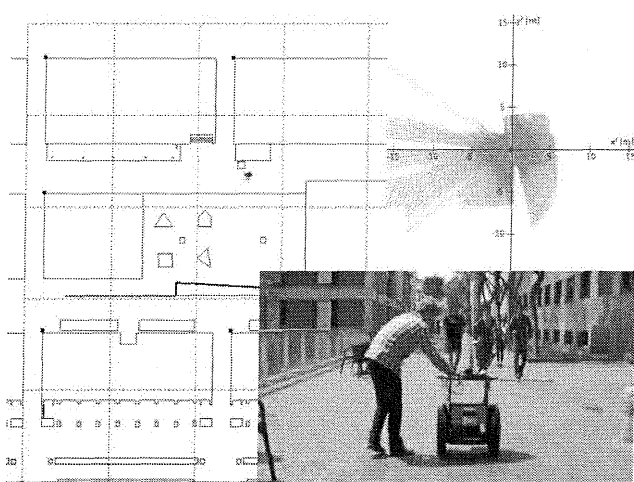
El projecte URUS es centrarà en el disseny d'una xarxa de robots que d'un mode cooperatiu interactuïn amb humans i amb l'entorn, per a portar a terme tasques d'assistència, transport de mercaderies i vigilància en àrees urbanes. Més específicament, el seu objectiu és dissenyar i desenvolupar una arquitectura basada en xarxes de robots que integri robots urbans cooperatius, sensors i dispositius intel·ligents i comunicacions. Entre la tecnologia específica que desenvolupa el projecte, hi ha: coordinació per a la navegació; percepció cooperativa; construcció cooperativa de mapes; planificació i negociació de tasques; interacció entre humans i robots; estratègies de comunicació sense fils entre els usuaris (telèfons mòbils), l'entorn (càmeres) i els robots. A més, per a simplificar les tasques dins l'entorn urbà, es fa servir una plataforma comercial com és el Segway, preparat per a aquests entorns, però dotada d'autonomia. Proves de concepte d'aquests sistemes es porten a terme en zones lliures de cotxe en Barcelona, com són el Campus Nord de la UPC o certes places del barri de Gràcia. URUS és una iniciativa europea, amb origen al Research Atelier on Network Robot Systems.



L'objectiu general del project és el desenvolupament de noves formes de cooperació entre robots en xarxa i éssers humans i/o l'entorn en àrees urbanes, per a portar a terme tasques que d'una altra forma podrien ser força complexes i costoses en temps i diners. Per exemple, la cooperació entre robots i videocàmeres pot resoldre problemes de vigilància en àrees urbanes, així com la comunicació entre robots i dispositius de comunicació sense fils pot ajudar a la gent de diverses maneres.



El focus del projecte està situat en les àrees urbanes per a vianants, un tema important en Europa on existeix un creixent interès en reduir el nombre de cotxes als carrers i així millorar la qualitat de vida. D'aquesta forma, els robots en xarxa poden ser un instrument important per a millorar aquestes qüestions a les ciutats.



El concepte de robots en xarxa és nou i integra robots, sensors i dispositius mòbils de forma cooperativa, que implica no només una interconnexió física entre aquests elements, sinó també, per exemple, el desenvolupament de innovadors mètodes de cooperació orientats a la resolució de tasques, noves vies de comunicació entre els diferents elements o nous mètodes per a

la mobilitat fent que els robots apraïtin la col·locació de sensors.

De forma més específica, un dels objectius del projecte URUS és desenvolupar una sèrie d'eines per a disposar d'una interfície robusta de comunicació entre robots i persones i un cap, simple però amable, per als robots urbans. Una persona podrà comunicar-se amb un robot mitjançant telèfons mòbils, veu i gestos. Llavors, el robot podrà comunicar-se amb aquesta persona

mitjançant la veu, una pantalla tàctil o el telèfon mòbil. Aquests telèfons mòbils seran la principal interfície de comunicació que permetran a les persones demanar assistència, ajut o qualsevol altre ordre, i a més podran servir per a la primera aproximació de la localització de la persona en l'entorn urbà. Això implica la definició d'un llenguatge bidireccional de comunicació fent servir telèfons mòbils. La pantalla tàctil del robot serà un dispositiu interactiu per a l'intercanvi d'informació. Els gestos humans tindran dues missions: expressar comandes molt simples per una banda, i geolocalitzar la persona en un lloc urbà per l'altra. Finalment, es desenvoluparà un cap simple però amistós i amable per als robots urbans. El disseny i implementació del sistema que governa les expressions facials d'aquest cap són l'objectiu d'aquest Projecte Final de Carrera.

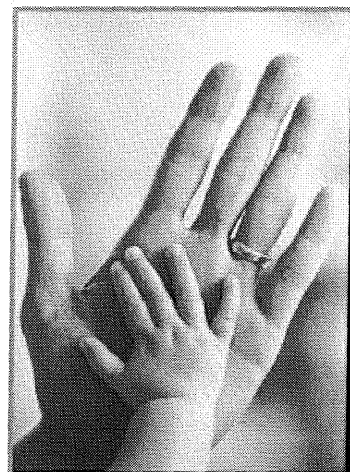
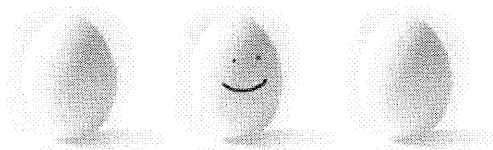
## ***Els robots Tibi i Dabo***

Tibi i Dabo són els robots d'aspecte humanoide que formen part del desplegament del projecte URUS en entorns urbans. URUS, com a tot projecte d'aquesta envergadura, porta darrere un gran esforç de disseny i enginyeria. D'acord amb els seus dissenyadors, els robots Tibi i Dabo havien de complir els objectius que detallo a continuació.



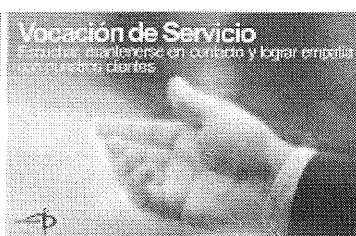
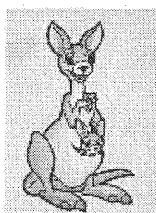
### **Acceptació emocional i cultural**

- convexitat formal, o que generin modulacions per a adaptar la nostra abraçada
- superfícies suaus
- formes lleugerament toves, tendres
- connexions amb la infància, la maternitat i les faules animals



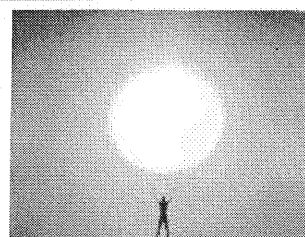
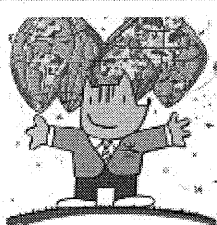
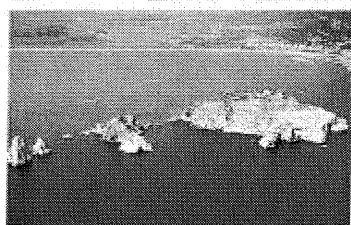
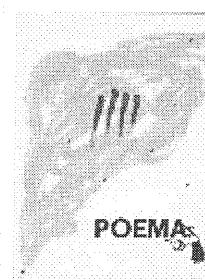
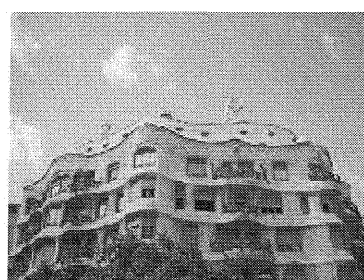
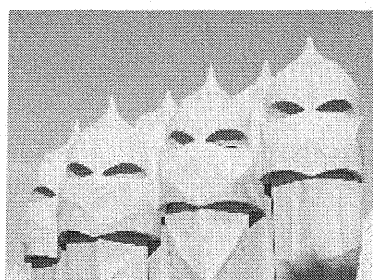
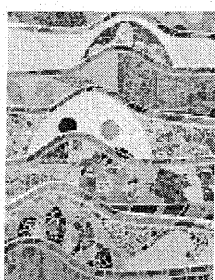
## Vocació de servei

- gest atent, viu, despert
- colors que convidin, càlids, atenuats
- formes que convidin a l'abraçada, convexes, romes



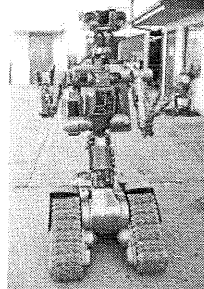
## Referència subtil al context del projecte

- llum, mediterrani, frescor, dinamisme, espontaneïtat, seny, cosmopolita...

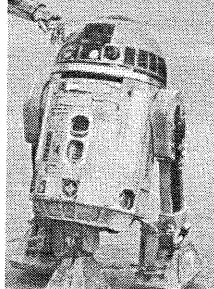


## Dignificació del seu origen robòtic

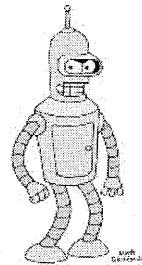
- Per què alguns robots provoquen acceptació i empatia? Perquè malgrat el seu origen robòtic, els hem donat característiques humanes, no tant físiques sinó de comportament: fan broma, pateixen, estan contents... o almenys ho fan de forma similar a nosaltres



Johnny 5  
(Short Circuit)



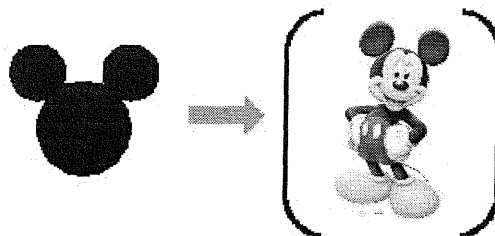
R2D2  
(Star Wars)



Bender  
(Futurama)

## Fotogènia i pregnància

- Pregnància és un terme en castellà que segons el DRAE és “la qualitat de les formes visuals que capten l'atenció de l'observador per la simplicitat, equilibri o estabilitat de la seva estructura”.
- E. Eibesfeldt en “Etologia humana”: “En una multitud d'imatges desordenades i irregulars ens criden més l'atenció les caracteritzades per la seva regularitat i ordre”



Després de seguir aquests criteris, entre d'altres com són la seguretat, el pes o els materials de construcció, els dissenyadors dels robots Tibi i Dabo van treballar durant setmanes, fins a arribar al disseny final, passant per les següents fases:

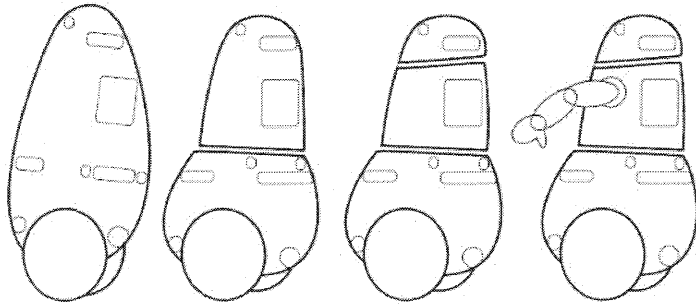
## Esquemes formals

**OPCIÓN A**  
1 cuerpo

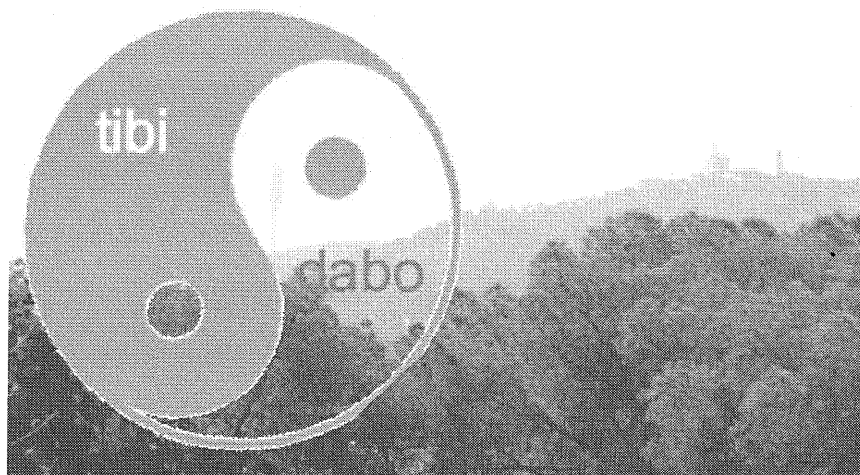
**OPCIÓN B**  
abdomen+ tronco

**OPCIÓN C**  
abdomen+  
tronco+cabeza

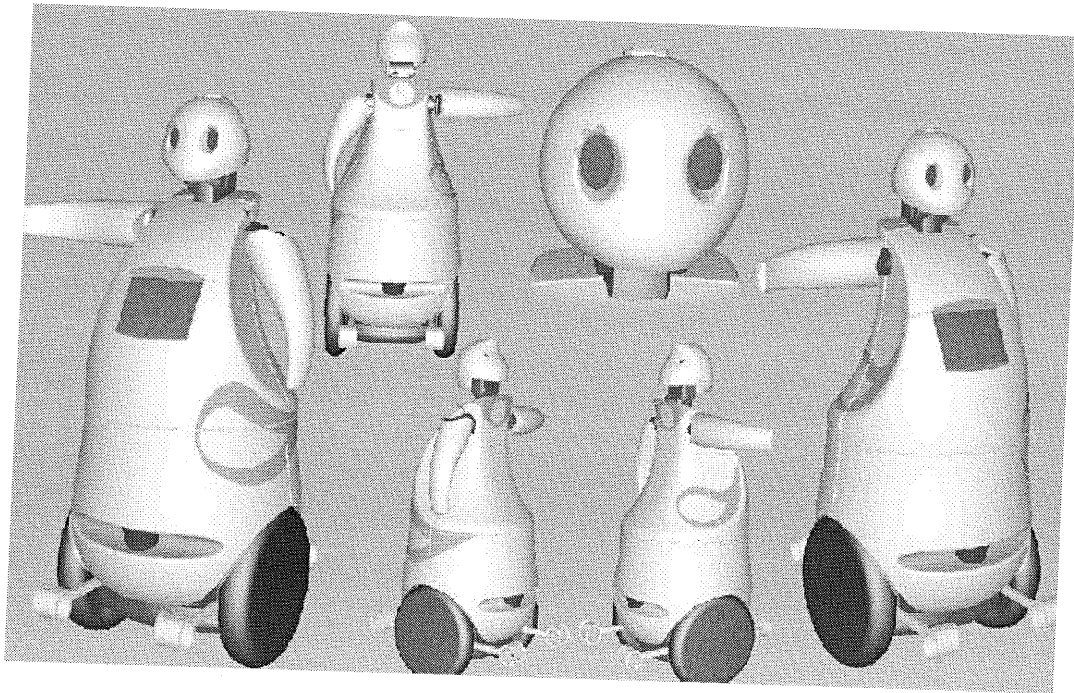
**OPCIÓN D**  
abdomen+tronco+  
cabeza+brazos



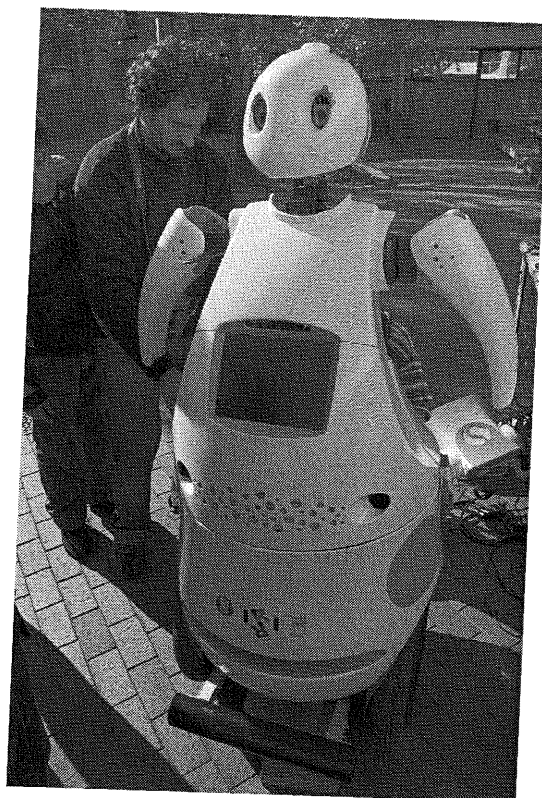
## L'ànima: origen comú de Tibi i Dabo



## Colors i formes



## Resultat final: Tibi



## 2. Requeriments del projecte

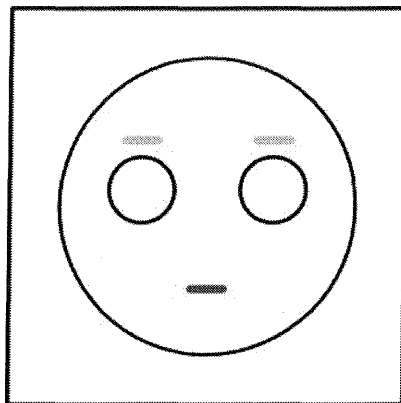
El desenvolupament d'aquest PFC s'ha portat a terme dins del projecte URUS i sota les restriccions que imposava el disseny dels seus robots Tibi i Dabo. Per tant, la majoria de requeriments han vingut donats per la pròpia configuració dels robots, tant a nivell electrònic com mecànic. Tot i que no han estat requeriments gaire restrictius, sí que han estat decisius en el desenvolupament del PFC. A continuació es detallen quins han estat aquests requeriments.

### ***Expressions facials***

La pròpia forma ja mecanitzada del cap del robot m'ha donat poc marge de maniobra per dissenyar les expressions facials. El meu sistema hauria de permetre incloure cel·les de forma convexa, la línia del somriure i les galtes per simular el rubor. Amb les combinacions possibles d'aquests tres elements, es va decidir que el robot havia de ser capaç d'expressar els següents estats d'ànim i/o expressions:

- **Standby/neutre**

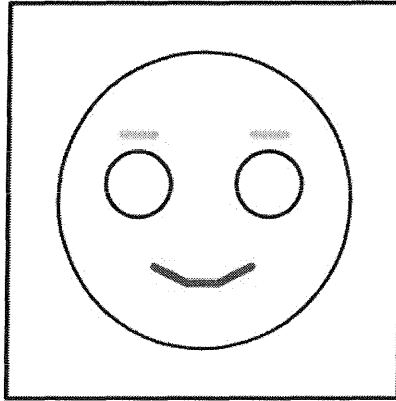
Aquest és l'estat per defecte de Tibi, tal qual inicia el seu funcionament. En aquest estat, Tibi no ha d'expressar cap emoció identificable, així que s'eviten els gestos amb les cel·les o la boca.





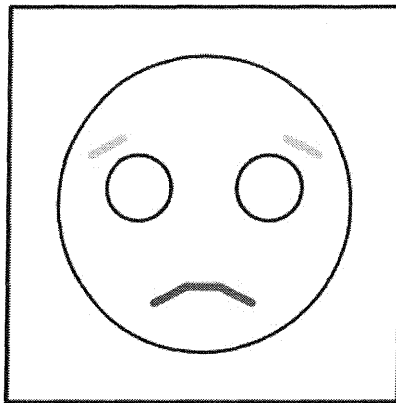
- **Felicitat/alegria**

Com que Tibi ha de ser un robot assistencial, ha de poder expressar felicitat i/o alegria per poder atendre positivament les persones de l'entorn que li sol·licitin ajuda.



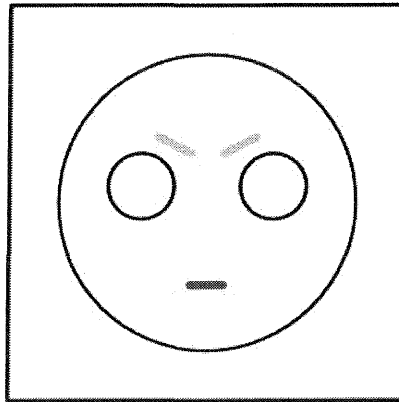
- **Tristesa**

En el cas de no poder ajudar algú, Tibi ha de poder expressar la seva tristesa al respecte. Això fa la seva reacció més humana, doncs ha de simular que li sap greu no poder ser d'ajuda.



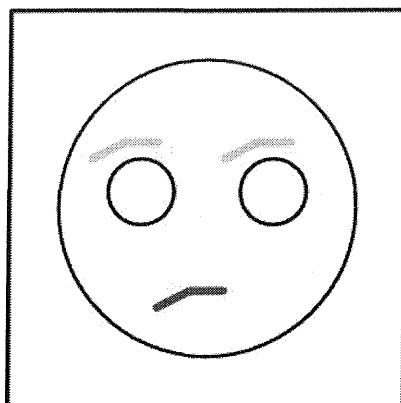
- **Enfad/disconformitat**

A vegades, les reaccions de les persones de l'entorn poden ser desagradables, per exemple un crit o una empenta. Si és possible identificar aquest tipus d'estímul, ha de ser possible respondre adequadament amb una cara enfadada per indicar la seva disconformitat amb aquest tracte.



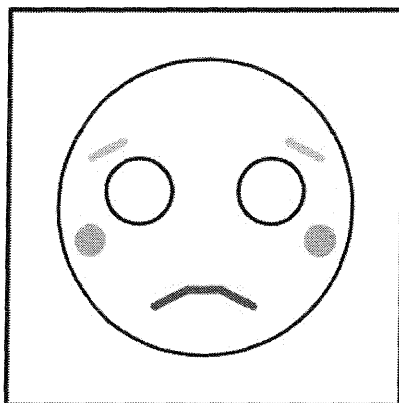
- **Preocupació/confusió**

En ocasions, Tibi no podrà entendre les ordres de les persones de l'entorn, i es fa necessari poder respondre amb una cara que reflecteixi aquesta sensació de confusió o preocupació. Acompanyada d'un gest amb el cap, aquesta expressió és similar a la que utilitzen els gossos quan no entenen una ordre.



- **Vergonya**

Com en algunes de les expressions anteriors, a vegades Tibi no entendrà les ordres de l'entorn, i en d'altres les entendrà malament. En aquest cas en el que una ordre sigui corregida, Tibi podrà mostrar el seu sentiment de vergonya al respecte.



### ***No podia ser mecànic***

El sistema d'expressions havia de ser generat mitjançant un sistema no mecànic, és a dir, sense servos, pistons ni cap component semblant. Els motius d'aquesta elecció són dos: per una banda m'havia de cenyir al model ja construït del cap. Per l'altra, el robot tenia certes restriccions de pes que feien inviable un sistema de motors, doncs aquests solen ser bastant pesats. L'elecció evident va ser fer servir un sistema de retroil·luminació amb LEDs, aprofitant les propietats translúcides del plàstic del robot, de forma que els LEDs havien de permetre dibuixar les diferents expressions del robot i a més havien de fer-ho sense ser massa visibles. Es va decidir que agruparíem els LEDs en components atòmics d'entre 3 i 5 díodes, de forma que poguéssim dibuixar línies i corbes de diferents longituds i amb bona "resolució", sense comprometre el nombre necessari de senyals electròniques per governar-los.

### ***Alimentació de les trames de LEDs***

El robot Tibi disposa d'un sistema intern de bateries que pot proporcionar tensions de 5, 12 i 24 volts als distints components hardware que l'integren (GPS, làsers, motors...). Donat que volíem activar trames de 3 a 5 LEDs, precisem d'alguna d'aquestes connexions per activar-les doncs els

voltatges que proporcionen tant els pins d'E/S del microcontrolador com el pin de Vdd no són suficients: cada LED té un voltatge de caiguda d'entre 1.8 i 2.2 V, i el microcontrolador només pot proporcionar-nos 5V per sortida.

- La connexió de 5 V era insuficient per a connectar més de dos LEDs per component, amb el que per dibuixar qualsevol expressió s'hauria disparat el nombre de components i el nombre de senyals necessaris per governar-los.

*Sigui Vdd la tensió subministrada,  $V_{dd} = 5\text{ V}$*

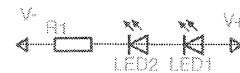
*Sigui Vf la tensió de caiguda de cada LED,  $V_f = 2\text{ V}$*

*Sigui V la diferència de tensió,  $V = V_{dd} - 2 \cdot (V_f) = 1\text{ V}$*

*Sigui I la intensitat desitjada,  $I = 40\text{ mA}$*

*Sigui R la resistència necessària,  $R = V/I = 25\text{ Ohms}$*

*Sigui P la potència dissipada per R,  $P = I^2 \cdot R = 0.040\text{ W}$*



- Donat que volíem mantenir un nombre reduït de components, els 24 V haurien resultat inefficients respecte al consum energètic, donat que la resistència associada hauria de dissipar més de mig watt. En el cas de Tibi i de qualsevol robot de la seva envergadura, l'ús de les bateries és un factor crític pel seu funcionament, amb el que s'ha de vigilar constantment no abusar ni malgastar recursos elèctrics.

*Sigui Vdd la tensió subministrada,  $V_{dd} = 24\text{ V}$*

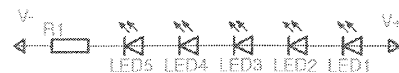
*Sigui Vf la tensió de caiguda de cada LED,  $V_f = 2\text{ V}$*

*Sigui V la diferència de tensió,  $V = V_{dd} - 5 \cdot (V_f) = 14\text{ V}$*

*Sigui I la intensitat desitjada,  $I = 40\text{ mA}$*

*Sigui R la resistència necessària,  $R = V/I = 350\text{ Ohms}$*

*Sigui P la potència dissipada per R,  $P = I^2 \cdot R = 0.56\text{ W}$*



Per tant, vaig escollir els 12V. Per una banda em permetia connectar components de fins a cinc

LEDs cadascun, suficients per poder dibuixar les nostres expressions a la cara del robot. Per l'altra, em permetia estalviar energia doncs dissipàvem una quantitat mínima a les resistències.

*Sigui  $V_{dd}$  la tensió subministrada,  $V_{dd} = 12\text{ V}$*

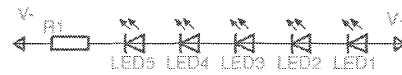
*Sigui  $V_f$  la tensió de caiguda de cada LED,  $V_f = 2\text{ V}$*

*Sigui  $V$  la diferència de tensió,  $V = V_{dd} - 5 \cdot (V_f) = 2\text{ V}$*

*Sigui  $I$  la intensitat desitjada,  $I = 40\text{ mA}$*

*Sigui  $R$  la resistència necessària,  $R = V/I = 50\text{ Ohms}$*

*Sigui  $P$  la potència dissipada per  $R$ ,  $P = I^2 \cdot R = 0.08\text{ W}$*



Donades les expressions que volem mostrar, necessitem 15 trames de LEDs. En total, el conjunt complet de LEDs dissipa 1.2 W com a màxim. Tenint en compte que els LEDs només estan actius la meitat del temps donat que fem servir la persistència de visió, i que no tots els LEDs brillen a la vegada, com a màxim el conjunt dissipa 0.6 W.

## **Control i comunicació**

El sistema havia d'acabar integrat dintre del robot, però no seria autònom, doncs les expressions facials del robot havien de ser reaccions dirigides des d'un dels portàtils interns del robot. Com que aquests portàtils disposaven de ports USB suficients, l'elecció clara va ser fer servir un sistema microcontrolador amb connexió USB que ens permetés algun tipus de comunicació sèrie. Aquesta comunicació sèrie havia de permetre'ns enviar comandes de pocs bytes de forma fiable, així que també es va decidir establir algun tipus de protocol de comunicació asíncrona entre el sistema microcontrolador que s'implementés i el PC de control.

### 3. Disseny del sistema

S'ha decidit orientar el disseny cap a una arquitectura centralitzada on el sistema microcontrolador porta a terme totes les tasques de govern dels LEDs i de comunicació amb el PC de l'operador: una arquitectura centralitzada simplifica el sistema donat que tot el hardware actual (microcontrolador, LEDs, cablejat) es limita a la cara i cap del robot. Tot i així, també es va plantejar fer servir una arquitectura distribuïda, però es va descartar perquè no era necessària en aquest disseny. Per a futurs dissenys, on el robot podria tenir altres punts lluminosos (mans, braços, cos) sí podria ser positiu descentralitzar el sistema, situant dispositius independents que fossin governats mitjançant una xarxa de bus (i2c, per exemple) per tot el robot. A continuació es descriuen els elements que es van tenir en compte en cada part del disseny.

#### **LEDs**

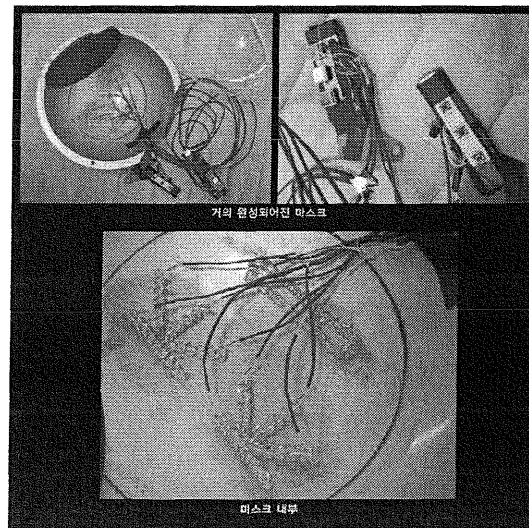
#### **Control dels LEDs**

Amb els requeriments del capítol anterior en ment, es va decidir començar pel sistema d'activació dels LEDs. Es van prendre diferents aproximacions fins arribar al disseny final, tenint en compte diferents característiques com eficiència energètica, consum d'espai o complexitat del hardware i la seva programació.

#### **Idea #0: Un senyal digital activa un LED**

Tot i que aquest aproximació és absolutament rudimentària i limitada, forma part d'una idea prèvia en la qual un LED podia il·luminar un cable de fibra òptica que es distribuïria per la cara del robot. Bàsicament, un senyal digital del microcontrolador activa un LED que a la vegada il·lumina un grapat de fibres òptiques. Els extrems d'aquesta fibra òptica dibuixen a la cara les diferents expressions. En aquest sentit, el sistema no és escalable doncs cada grapat de fibres només pot

dibuixar una expressió prefixada. Per altra banda, podríem tenir tantes expressions com senyals d'E/S tinguéssim al microcontrolador. Un exemple d'aquesta idea és la “màscara de les emocions”, un projecte artístic d'una universitat coreana<sup>1</sup>, que mostra emoticons com els del xat mitjançant un sistema de LEDs i fibra òptica.



### Idea #1: Un senyal digital activa un grup de LEDs

Aquesta és la idea bàsica sobre la que es construeix el meu PFC. Un senyal digital permet activar mitjançant algun mecanisme un grup de fins a 5 LEDs, limitació que es decideix tenint en compte els 12V d'alimentació externa. A aquest grup de 5 LEDs l'anomenaré sovint “component” o “trama”.

Pros:

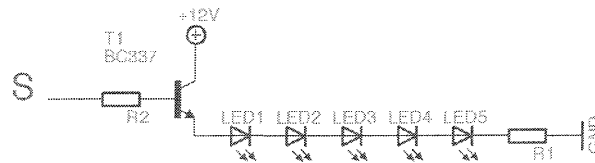
- fàcil programació
- pocs components electrònics, ocupa poc espai

Contres:

- nombre de components limitat pel nombre de senyals disponibles del microcontrolador

El mecanisme que podem fer servir en aquest cas és un transistor NPN la base del qual està connectada al senyal del microcontrolador, S. Quan activem i desactivem aquest senyal, el transistor actua com un interruptor que deixa passar o no el corrent i activa i desactiva el grup de LEDs.

<sup>1</sup> [http://blog.naver.com/inter\\_mask](http://blog.naver.com/inter_mask)



### Idea #2: Un senyal digital encén un grup de components

Si podem activar un grup de 5 LEDs, també podem activar un nombre arbitrari de grups de 5 LEDs a la vegada, permetent-nos configurar un nombre fixe d'expressions facials amb un nombre reduït de senyals del microcontrolador. Suposem que tenim dos senyals,  $S_A$  i  $S_B$ . Si  $S_A$  està activat, llavors  $S_B$  està apagat, i viceversa. Suposem que l'expressió A necessita  $N_A$  trames de LEDs i l'expressió B necessita  $N_B$  trames. Llavors, amb  $N_A + N_B$  transistors i seguint l'esquema de la idea anterior, podríem dibuixar aquestes dues expressions només fent servir els dos senyals  $S_A$  i  $S_B$ .

Pros:

- fàcil programació
- amb N senyals del microcontrolador podem dibuixar N expressions, amb el consegüent estalvi de cablejat

Contres:

- poc configurable i adaptable, en un futur el robot podria necessitar noves expressions i caldria reconstruir el hardware i reprogramar el software

### Idea #3: Un senyal digital encén N components, via multiplexió

Similar a la segona idea, però multiplica gairebé per dos el nombre de senyals disponibles gràcies a la multiplexió i l'efecte POV (persistència de visió) resultant. Si disposem de N senyals digitals, podem aconseguir  $2^{(N-2)}$  senyals alternant a intervals regulars els estats dels dos senyals restants. Amb ajut d'altres components electrònics seria fàcil millorar el disseny i aconseguir  $2^{(N-1)}$  senyals, però no es va considerar necessari.

Pros:

- redueix el nombre de senyals necessaris al microcontrolador
- connexions més senzilles, estalvi d'espai i cablejat dins del robot



Contres:

- el hardware és més complex
- el microcontrolador ha de disposar d'un sistema d'interrupcions de rellotge, doncs la multiplexió ha de fer-se de forma asíncrona i independent del codi principal
- el codi es complica donada aquesta necessitat d'interrupcions

#### **Idea #4: Un senyal digital encén dos blocs de components, via multiplexió**

Aquesta aproximació és un mix de les dues anteriors: primer reduïm el nombre de senyals necessaris, i després apliquem la multiplexió per dividir aquest nombre per la meitat.

Pros:

- fàcil programació
- redueix el nombre de senyals necessaris al microcontrolador
- connexions més senzilles, estalvi d'espai i cablejat dins del robot

Contres:

- poc configurable i adaptable, en un futur el robot podria necessitar noves expressions i caldria reconstruir el hardware i reprogramar el software

Finalment, l'opció escollida va ser la número 3, doncs em permetia desenvolupar un sistema versàtil, escalable i configurable, malgrat les possibles dificultats hardware.

## **Color dels LEDs**

Els dissenyadors de la Tibi i el Dabo van establir el taronja i el blau, respectivament, com els colors distintius de cada robot. Com que la primera aplicació d'aquest projecte són les expressions de la Tibi, els colors escollits per als LEDs de la seva cara són el taronja per a les celles, el vermell-taronja per a les galtes i el vermell per a la boca. Aquests tres colors són estàndards i es poden trobar fàcilment en qualsevol catàleg de LEDs en diferents angles de visió i diversos tamany i encapsulats, així com amb un ample rang de mcd.

Aquests tres colors van ser aprovats pels propis dissenyadors de la Tibi, que van ajudar a desestimar altres possibles combinacions de colors que no respectaven les directrius de disseny, com eren el blau-vermell o el verd-vermell.

## **Característiques lumíniques**

Pel que fa a la llum, es van provar LEDs d'alta intensitat lumínica amb angles de 15° i 30°. Tot i que semblava que la llum generada pels LEDs de 15° seria estèticament pitjor, doncs es podria marcar massa la silueta del LED contra el plàstic, en diverses proves es va constatar que el LED de 30° creava una taca massa difosa en el plàstic de la cara, fent que les diferents trames amb les que dibuixàvem fossin indistingibles, mentre que la llum de les trames amb LEDs de 15° era més neta i clara.

En el cas de la intensitat lluminosa, hi havia LEDs de tres colors amb diferents intensitats: els LEDs vermells oferien 9300 mcd, els LEDs vermell-taronges oferien 4200 mcd i els LEDs taronges oferien 5500 mcd.

## **Microcontrolador**

Donat que el sistema requeria el control d'un operador o de la IA del robot, el sistema havia de disposar de comunicació amb l'exterior. Al mercat podem trobar una àmplia gama de microcontroladors amb interfícies sèrie sobre RS232 i USB, però sovint és complicat escollir l'opció òptima entre tantes desenes de models com els que ofereixen Microchip o Atmel. A més, fer servir un sistema microcontrolador USB propi requeria el disseny i construcció de tota una electrònica afegida que es sortia dels objectius d'aquest PFC. Per això, entre d'altres motius que explicaré amb més detall, vaig escollir una solució comercial que minimitzés la meua dedicació a la part hardware de la comunicació per a poder enfocar-me en el desenvolupament del sistema de control. Aquesta plataforma és Arduino, un projecte *open source* que integra un microcontrolador ATmega168 amb una interfície senzilla d'entrada/sortida, i que incorpora USB per a la comunicació sèrie amb el PC.

Com que coneixia la plataforma Arduino i tenia experiència programant amb ella, vaig desestimar altres opcions molt habituals, com són els microcontroladors amb capacitat USB PIC18F2455 i PIC16C745 de Microchip. Queda com a possible optimització, tant econòmica com d'espai, en el futur desenvolupar aquest sistema fent servir microcontroladors dedicats en comptes de plataformes existents.

## **Plataforma Arduino**

Arduino és una plataforma *open source* destinada a la creació de sistemes electrònics (art, prototipatge,...) basada en un microcontrolador AVR d'Atmel i una placa d'E/S de baix cost. També proporciona comunicació sèrie RS232 mitjançant USB i el driver FTDI. Existeixen diferents tipus de plaques Arduino i cadascuna ofereix diferents possibilitats depenent de l'objectiu del desenvolupador: interfícies DB9 i USB, diferents tamanys...

El microcontrolador es programa amb un llenguatge basat en Wiring, molt similar al C, fent servir un IDE proporcionat pels creadors d'Arduino. Els projectes basats en Arduino poden ser tant

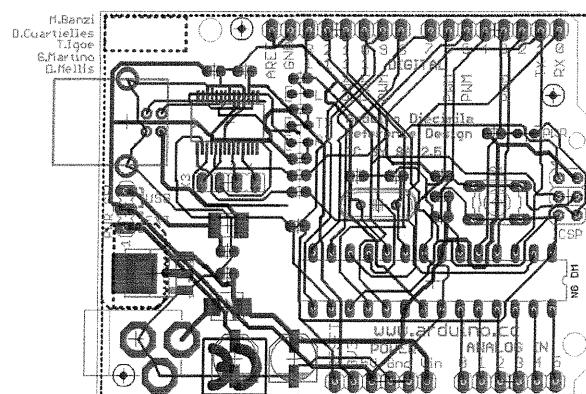
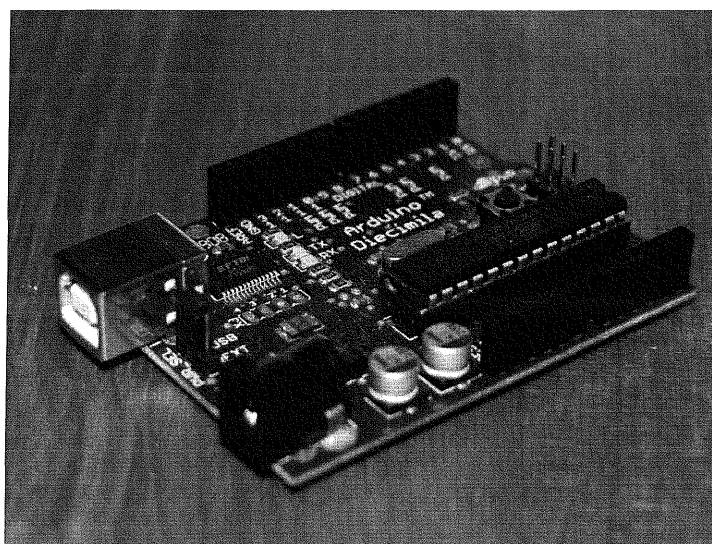
embedded systems com perifèrics d'un ordinador, i també poden connectar-se amb altres Arduinos.

Donat que el disseny del seu hardware és lliure, les plaques Arduino poden ser construïdes pel mateix desenvolupador, o modificades i adaptades a les necessitats concretes del projecte que es porti a terme.

A Internet podem trobar abundant informació, manuals i exemples de codi i hardware, tant en la pàgina del projecte com en webs d'electrònica i hobbies. A més, existeix una àmplia comunitat de desenvolupadors al voltant de la plataforma Arduino que organitzen tallers i *campaments*.

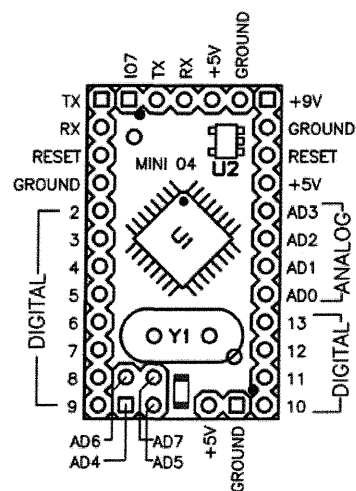
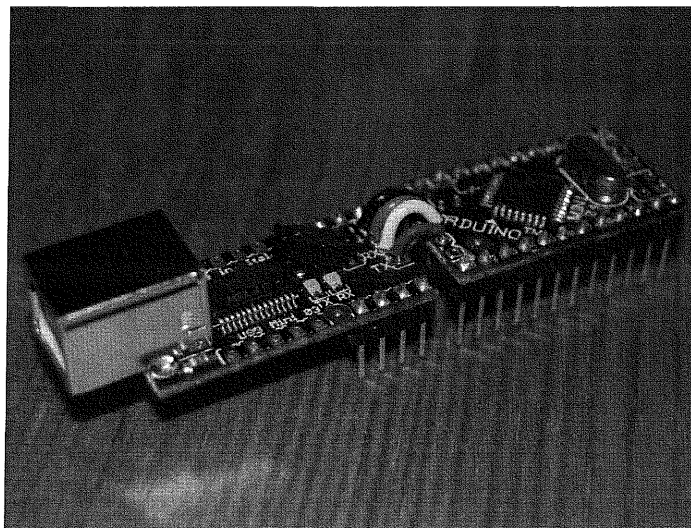
Per a aquest PFC s'han fet servir dues plaques Arduino diferents ja muntades: una placa Arduino Diecimila per al prototipus i una placa Arduino Mini per a la implementació final dintre del robot. La placa Arduino Diecimila permet fer un prototipatge ràpid, doncs no hi ha necessitat de soldar components per a provar-ho. Per l'altra banda, Arduino Mini és una placa de dimensions reduïdes que podem soldar a un PCB o una breadboard.

| Arduino Diecimila               |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Microcontrolador                | ATmega168, d'Atmel               |
| Voltatge operatiu               | 5V                               |
| Voltatge d'entrada (recomanat)  | 7-12 V                           |
| Pins d'E/S digital              | 14 (6 d'ells proporcionen PWM)   |
| Pins d'entrada analògica        | 6                                |
| Corrent contínua per pin d'E/S  | 40 mA                            |
| Corrent contínua al pin de 3.3V | 50 mA                            |
| Memòria Flash                   | 16 KB (2KB usats pel bootloader) |
| SRAM                            | 1 KB                             |
| EEPROM                          | 512 bytes                        |
| Clock                           | 16 MHz                           |



Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

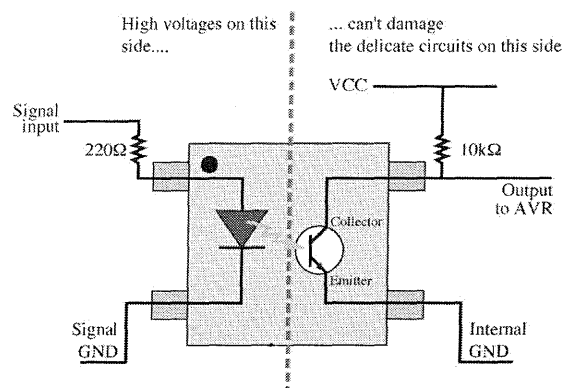
| Arduino Mini                   |   |
|--------------------------------|---|
| Microcontrolador               | ATmega168, d'Atmel                      |
| Voltatge operatiu              | 5V                                      |
| Voltatge d'entrada (recomanat) | 7-9 V                                   |
| Pins d'E/S digital             | 14 (6 d'ells proporcionen PWM)          |
| Pins d'entrada analògica       | 8 (4 són pins i 4 són forats soldables) |
| Corrent contínua per pin d'E/S | 40 mA                                   |
| Memòria Flash                  | 16 KB (2KB usats pel bootloader)        |
| SRAM                           | 1 KB                                    |
| EEPROM                         | 512 bytes                               |
| Clock                          | 16 MHz                                  |



## Altres components

### Optoacobladors

En el nostre circuit haurem de fer servir senyals TTL per a controlar l'activació de 3 a 5 LEDs en sèrie. Com ja hem vist, no es poden activar aquest grup de LEDs amb el voltatge que proporcionen les sortides del microcontrolador, així que es fa necessari d'algun tipus de sistema basat en relé o transistor. Una primera aproximació és fer servir un transistor habitual, el BC639. Tot i que aquesta solució és simple i barata, no és segura doncs no podem suposar que el voltatge que ens proporcioni la font d'alimentació del robot estigui lliure de sorolls perillosos que ens podrien fer malbé la delicada electrònica del microcontrolador. Així, farem servir un circuit optoacoblador. Aquest circuit consisteix en un LED i un fototransistor que conjuntament treballen com un relé. Quan es polaritza el LED intern, la seva llum provoca que el transistor condueixi. En no existir connexió física entre el LED i el transistor, un error en l'alimentació dels LEDs no afectarà l'electrònica del microcontrolador.



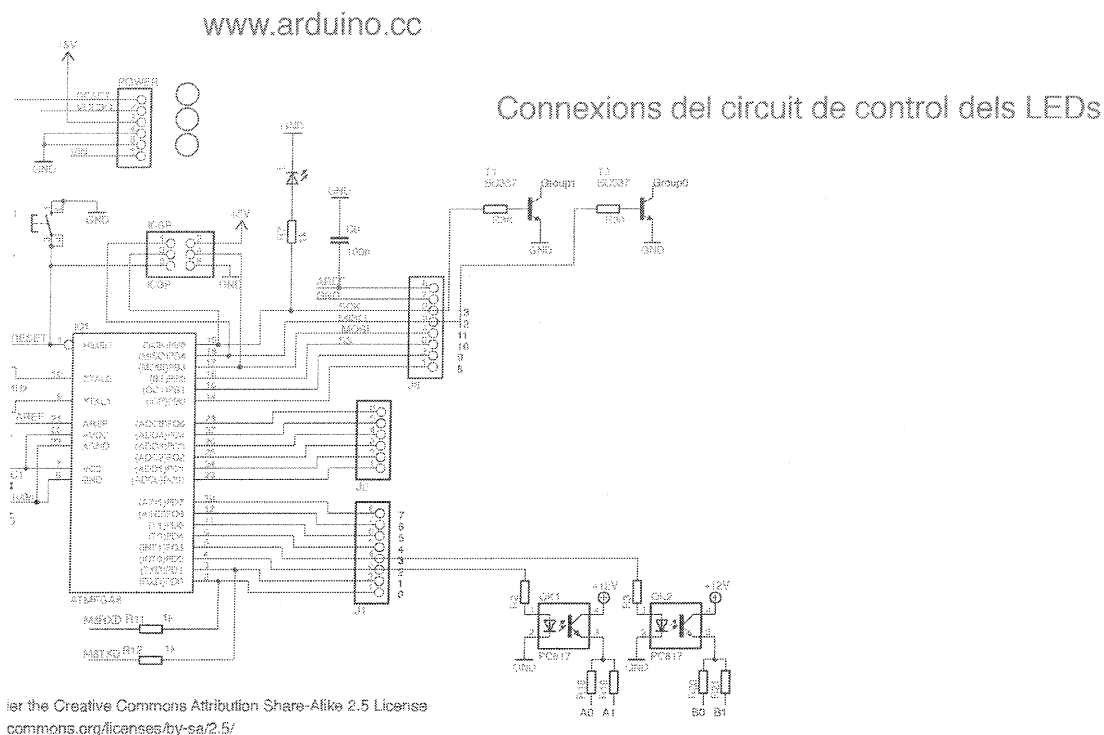
## 4. Implementació del sistema

### Prototipus

#### Circuit electrònic

Primer de tot, es va decidir construir un prototipus sobre placa perforada per testar diverses versions provisionals del firmware i comprovar que el sistema de multiplexió de senyals era viable. Aquest circuit de proves fa servir la placa Arduino Diecimila, que em va ajudar a estalviar temps i recursos, doncs no cal fer cap soldadura ni fem malbé cap component que necessitem per a realitzar el hardware final.

En el següent circuit, els senyals A0 i B0 activen dos grups de 4 LEDs cadascun del bloc 0, i A1 i B1 dos grups de 4 LEDs cadascun del bloc 1. Group0 i Group1 són els càtodes respectius a cada grup. S'omet la resta del circuit per qüestions de claredat i espai.



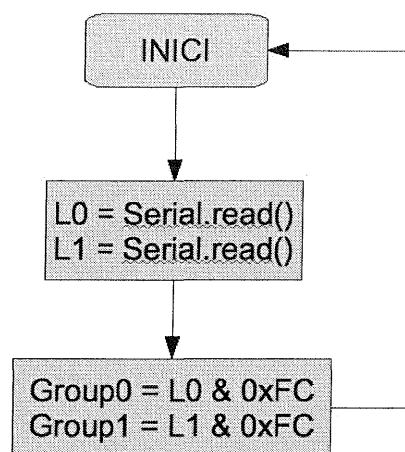


## Firmware

El firmware de la placa havia de realitzar dues tasques: per una banda havia de rebre comandes del PC via la línia sèrie, i per l'altra havia de respondre adequadament il·luminant els LEDs seleccionats.

Arduino ofereix diverses funcions per a la lectura de la línia sèrie que ens faciliten la implementació d'un protocol de comunicació entre el PC host i la placa. Per exemple, disposem de la funció **Serial.available()**, que ens retorna el nombre de bytes rebuts al buffer de lectura. Aquesta funció ens permet comprovar si hem rebut tots els bytes necessaris per a activar tots els grups de LEDs. Per llegir aquests bytes, disposem de la funció **Serial.read()**, que llegeix i treu un byte del buffer. Com podem observar, el buffer es tracta d'una cola FIFO, amb capacitat per a 128 bytes.

A priori, el nostre firmware només haurà d'esperar, per polling, a que el PC host li hagi enviat cap nova comanda. Per a la versió final del codi s'ha desenvolupat un protocol senzill, com ja veurem més endavant, mentre que per al prototipus només és va implementar un bucle infinit que llegia dos bytes de la línia sèrie (un per grup) i dels quals ens quedàvem només amb els dos bits de menys pes, doncs només volíem activar 2 senyals.



Per altra banda, per a l'activació i desactivació dels LEDs vaig investigar les diferents possibilitats

del sistema d'interrupcions. Com vam veure en el capítol que feia referència al disseny del sistema, la idea bàsica és multiplexar els senyals a intervals regulars per a provocar l'efecte de la persistència de visió i així duplicar el nombre de components LED. Malgrat que la llibreria estàndard d'Arduino no inclou funcions d'atenció a les interrupcions de rellotge, vaig descobrir que les llibreries d'AVR contenen una macro que ens permet atendre totes les senyals d'interrupció de la CPU. En aquest cas, podíem fer servir la comprovació del vector d'interrupcions amb el flag **TIMER2\_OVF\_vect**, que ens indica un desbordament del registre **Timer2 (TCNT2)**, de mida 8 bits), un dels tres registres de tipus comptador dels que disposa el processador Atmega168. Cada cop que aquest registra es desborda, s'aixeca el flag **SIG\_OVERFLOW2**. Podem veure en el següent fragment de codi quina és la capçalera de la rutina d'atenció a la interrupció:

```
ISR(TIMER2_OVF_vect) {  
    milliseconds += 1;  
    ...  
}
```

Donat que **el rellotge intern d'Arduino corre a 16 Mhz**, podem fer el següent càlcul:

$$1 / ((16000000/64)/256) \quad 1/1000$$

on 64 fa referència a un dels possibles *prescalings* que podem fer prèviament i 256 són els valors possibles del registre, és a dir, els tics de rellotge que emmagatzema abans de desbordar-se. El resultat ens indica que **aproximadament cada 1/1000 segons, és a dir, cada mil·lèsima de segon, el registre TCNT2 es desborda**.

Després de diferents intents per assaig i error, es va anar disminuint cada quant temps s'havia de commutar els estats dels transistors que activaven i desactivaven cada bloc de LEDs. Així, es va arribar fins a un **temps de commutació de 10 ms**, o bé una **freqüència de commutació de 100 Hz**, on ja no s'advertien pampallugues als LEDs.

Per tant, la capçalera de la nostra rutina d'atenció a la interrupció quedarà així:

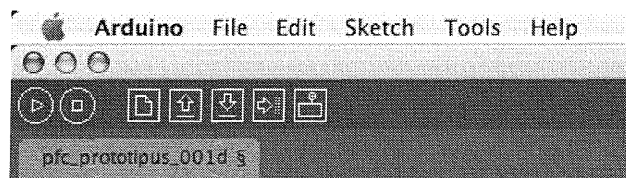
```
ISR(TIMER2_OVF_vect) {  
    milliseconds += 1;  
    if (milliseconds == 10) {
```

```

...
}
...
}

```

Dintre d'aquesta rutina, cada 10 ms cridarem la funció que activa i desactiva els senyals corresponents. El codi font complet es pot trobar al directori SRC del CD adjunt.



```

Arduino File Edit Sketch Tools Help

pfc_prototipus_001d 5

#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>

#define INIT_TIMER_COUNT 6
#define RESET_TIMER2 TCNT2 = INIT_TIMER_COUNT
#define NUM_SIGNALS 2
#define NUM_GROUPS 2
#define READY 0x00
#define END 0xFF

// SIGNAL DEFINITIONS, WILL ACTIVATE THE EIGHT KB817 OPTOS
int signals[] = {2, 3};

// GROUP DEFINITIONS, WILL ACTIVATE THE TWO BC* NPN TRANSISTORS
int groups[] = {12, 13};

// TICKS COUNTER
...

```

## **Aplicatiu per al PC**

Per tal de comunicar-nos amb l'Arduino des del PC, es va escriure un codi breu amb Python que em permetia enviar comandes a la placa des de la consola. Vaig escollir el llenguatge Python perquè és amb el que acostumo a programar, però aquesta aplicació es pot fer amb qualsevol altre llenguatge que permeti la comunicació amb el port sèrie del PC, com podrien haver estat C++ o Java.

Com ocorria amb el firmware de l'Arduino, el programa del PC també es tractava d'un codi ad-hoc, que no seguia cap tipus de protocol i es limitava a enviar bytes que eren reconeguts pel programa de l'Arduino. Al directori SRC del CD adjunt es pot trobar una còpia del codi font final per a consola.

## ***Construcció***

Per a la construcció del prototipus es va fer servir una placa de proves, també coneguda com a protoboard. Aquesta placa em va permetre construir el circuit indicat sense fer cap soldadura. Les connexions entre la placa Arduino i el circuit es van fer de forma aèria mitjançant cable monofil.

## ***Troubleshooting***

Res remarcable més enllà de la problemàtica habitual de construir un prototipus: assaig i error, debuggar codi, trobar els valors adients per als components electrònics...

## ***Sistema final***

### **Circuit electrònic**

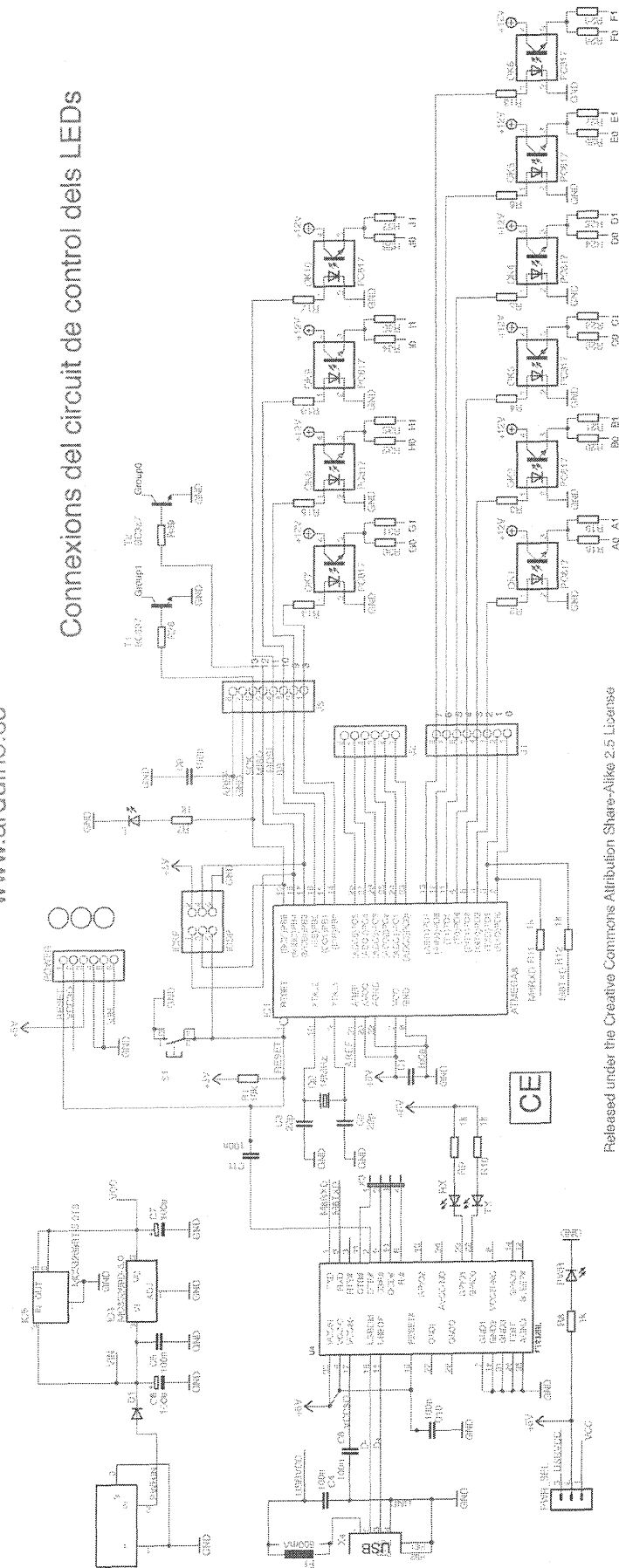
Tot i que Arduino disposa de 14 senyals d'E/S digitals, els senyals 0 i 1 estan multiplexades amb els senyals de RX i TX de la comunicació RS232. Com que la comunicació sèrie amb el PC pot interferir-nos amb el correcte funcionament del sistema de govern dels LEDs si fem servir aquests pins – bàsicament, soroll al senyal i per tant a l'encesa i apagada dels LEDs – es decideix fer servir només els senyals dels pins 2 a 13, és a dir, disposem de 12 senyals. Com que el nostre sistema es basa en la multiplexió de dos blocs de senyals i la persistència de visió, disposarem de 10 senyals digitals més els 2 senyals de multiplexió, que fan un total de 20 components governables. Aquests 20 senyals seran suficients per a la nostra primera aplicació, el robot Tibi.

En la següent pàgina es mostren el circuit final amb els 10 optoacobladors KB817 connectats als senyals d'alimentació dels LEDs. Com es pot veure, de cada optoacoblador parteixen dos senyals, \*0 i \*1. \*0 fa referència als senyals que governen els LEDs del bloc 0 i \*1 als senyals del bloc 1. Paral·lelament podem veure els transistors NPN, que suporten fins a 1 A d'intensitat, per poder absorbir els corrents de cada bloc de LEDs. Quan commutem aquests transistors (1-0 o 0-1), activarem i desactivarem el pas de corrent des de cada bloc de LEDs.

Una possible millora d'aquest sistema és afegir algun tipus de circuit (amb circuit integrat o no) que funcioni com una porta NOT física de manera que guanyem un pin d'E/S, doncs els senyals de multiplexió es commutarien amb un pin d'E/S i el seu negat via hardware. Entre d'altres motius, es va desestimar per estalviar components al circuit, amb el que reduïm el consum d'espai. Com que en futurs dissenys el nombre de components necessaris que s'han d'activar pot créixer, es proposa una implementació alternativa del circuit amb una porta NOT incorporada mitjançant un circuit inversor basat en transistor NPN. Amb aquest disseny disposem d'11 senyals d'E/S, i per tant podem governar fins a 22 components.

## Arduino Reference Design

www.arduino.cc



## Connexions del circuit de control dels LEDs

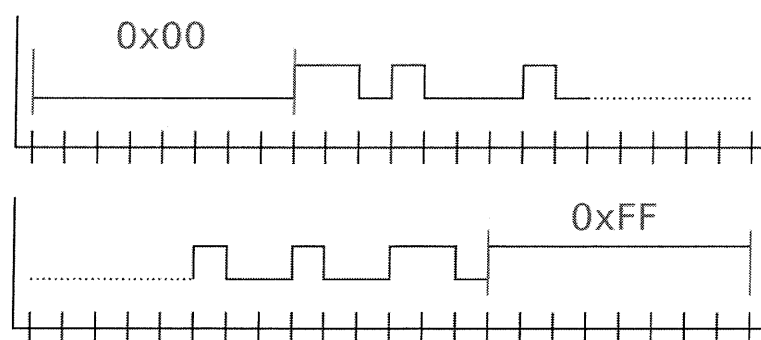
Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

Also see "So you want to make an Arduino" at <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

## Firmware

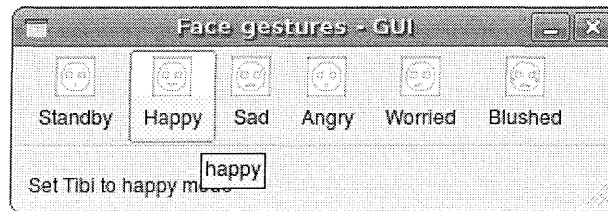
El codi final del circuit és una ampliació del codi del prototipus, amb dues modificacions claus: per una banda ha augmentat el nombre de senyals governades, i per l'altra s'ha implementat un protocol bàsic per a la recepció de comandes de 32 bits, o 4 bytes. Aquests 32 bits serveixen per a activar fins a 32 components. Com ja hem vist, en aquest disseny podem activar fins a 20 components, dividits en dos grups de 10. D'aquests 32 bits, els 10 bits més baixos dels 2 bytes de la part baixa codifiquen l'estat dels LEDs del grup 0 i els 10 bits més baixos dels 2 bytes de la part alta codifiquen els LEDs del grup 1.

Aquest protocol és senzill, i es basa en la recepció per part del PC d'un byte d'inici reconegut, la lectura seqüencial per part d'Arduino de 4 bytes del buffer FIFO i la recepció per part del PC d'un byte de final també reconegut. Per a configurar els dos bytes d'inici i final, he escollit el 0x00 i el 0xFF, per a maximitzar les seves distàncies de Hamming i així minimitzar l'aparició d'errors en la comunicació, encara que no existeixi una possibilitat crítica al respecte. Com que la comunicació sèrie de l'Arduino es fa a 9600 bps, i si ometem el temps requerit pel codi, aquests 6 bytes es transfereixen en 5 ms.



## Aplicatiu per al PC

Per al control del sistema es va desenvolupar una aplicació amb entorn gràfic. Aquesta aplicació permet de forma visual activar una sèrie d'expressions predefinides (les vistes al capítol 2)



Aquesta aplicació està programada en Python i fa servir les llibreries lliures de Qt. Es pot trobar una còpia del codi font al directori SRC del CD adjunt, juntament amb les icones usades.

## Construcció

En aquest cas, la construcció del sistema final es va realitzar en placa perforada, soldant tots els components necessaris i connectant-los amb la placa Arduino Nano en el mateix circuit. El conjunt s'ha col·locat dins una carcassa de plàstic i es connecta amb el sistema de LEDs ja integrat a la cara mitjançant cable pla.

## Troubleshooting

El principal problema d'aquesta construcció va ser mantenir el circuit el més petit possible per a poder encaixar-lo dins del cap del robot sense interferir amb altres components. Queda per a futures optimitzacions fer servir circuit imprès i components SMD.



## 5. Integració en el Projecte URUS

### *Sistema de subjecció facial*

Aquest PFC no només contemplava la implementació d'un sistema electrònic, sinó també la integració física dins del robot Tibi. Aquesta part, en la recta final del PFC, va resultar particularment complicada, donada la manca d'experiència en materials de prototipatge i construcció, així com en la problemàtica inherent a haver d'integrar un sistema propi i conegut en un sistema diferent amb moltes variables sobre les que no es té cap control.

### **Disseny**

El cap de Tibi incorpora dins seu més hardware, com són les càmeres bumblebee per als ulls, els motors de gir del coll o el cablejat de l'antena GPS. S'havia de tenir en compte que el nostre sistema podia interferir amb l'existent i per tant s'havia de minimitzar aquesta interferència. Per a dissenyar el sistema, es van tenir dos criteris en ment:

- No es podia modificar la forma ja mecanitzada del cap: no era possible perforar el plàstic, ni collar cap estructura, ni deformar el cap.
- No es podia interferir amb la resta de components que integren el cap.

Amb aquestes restriccions, es va optar per fer servir una escuma o algun tipus de material plàstic deformable que poguéssim adaptar a la “pell” interior del cap del robot. Aquest material tindria dues funcions: hauria d'amagar el possible cablejat i hauria de mantenir-ho aïllat de la resta de components. A més, a més, els LEDs haurien d'anar incrustats en aquesta escuma.

### **Construcció**

Per a la construcció es va adquirir una escuma de polietilè de 10 mm de gruix i una de 3 mm de gruix. Aquestes dues escumes es van retallar amb la forma interna de la cara, incloent els forats dels ulls. L'escuma de 10 mm porta incrustats les trames de LEDs soldats, i l'escuma de 3 mm fa

de “tapa” del conjunt. Entre les dues escumes s'amaga el cablejat i la connexió amb els cables provinents de la placa Arduino.

## ***Encapsulament YARP***

### **Què és YARP?**

YARP és un conjunt de llibreries, protocols i eines per a mantenir separats els mòduls software dels dispositius hardware. No es tracta en cap cas d'un middleware, sinó més aviat d'una interfície.

Els projectes de robòtica són sovint projectes ad-hoc amb un final fix, i el software i el hardware que s'en genera acostuma a desaparèixer. Entre d'altres causes, trobem la dependència en dispositius o llibreries que es tornen obsoletes en poc temps, o que aquests projectes es solen limitar a cercles petits d'investigadors. En el cas de la robòtica humanoide, on tot ha de ser innovador i trencador amb qualsevol intent anterior, l'obsolescència del software i el hardware són encara més greus.

YARP és un intent per a que el software pugui ser més estable i re-aprofitable, sense comprometre l'actualització habitual de sensors, actuadors, processador i xarxes. Ajuda a mantenir organitzada la comunicació entre aquests dispositius, de forma que els investigadors no han de patir per la integració entre ells, simplificant l'evolució gradual del sistema. El model de comunicació del YARP és neutral respecte al transport, de manera que el flux de dades es separa dels detalls de la xarxa i els protocols subjacents. La metodologia de treball que fa servir el YARP per a comunicar-se amb els dispositius ajuda també a reduir la dependència entre dispositius, fent que els canvis en els dispositius destorbin el mínim possible. Al mateix temps, el YARP no pretén responsabilitzar-se de la càrrega de treball dels dispositius i el software dels científics, només minimitzar els problemes inherents a fer servir diverses arquitectures, frameworks i middlewares.

YARP és lliure i gratuït, i està escrit per i per a científics del món de la robòtica, en particular robòtica humanoide, un món que ha de lidiar amb hardware molt divers i complicat, i que s'ha de controlar amb software igual de divers i complicat.

## **Dispositiu YARP**

La plataforma YARP permet als enginyers desenvolupar els seus propis dispositius dintre de la plataforma. Quan programem un dispositiu en YARP, creem una capa d'abstracció entre els servidors i clients YARP i el propi hardware, de forma que podem actualitzar el hardware sense la necessitat de fer grans canvis al nostre software. En el projecte URUS, tot els components dels robots Tibi i Dabo estan programats dins del sistema YARP, de forma que tot el control es pot realitzar des d'una mateixa interfície. Queda com a futura millora del projecte la programació d'aquest software en col·laboració amb els investigadors del projecte URUS.

## 6. Pressupost

Per a la realització d'aquest PFC s'ha comptat amb una sèrie de despeses, tant en material electrònic com en diversos materials per a la construcció del sistema complet. A continuació es detallen aquestes despeses.

|   |         |
|---|---------|
| Arduino Diecimila (Libelium <sup>2</sup> )                | 24,00 € |
| Arduino Nano (Libelium)                                   | 45,00 € |
| LEDs (RS Online <sup>3</sup> )                            | 54,72 € |
| Optoacobladors (RS Online)                                | 4,40 €  |
| Components electrònics variats (Onda Ràdio <sup>4</sup> ) | 12,00 € |
| Escuma de polietilè (Servei Estació <sup>5</sup> )        | 11,00 € |
| Cinta de velcro (Servei Estació)                          | 2,00 €  |

Pel que fa a les despeses de disseny, programació i construcció, es pren un preu/hora aproximat d'enginyer de 20 €/hora. S'han dedicat unes 115 hores a aquest projecte (sense tenir en compte la redacció d'aquesta memòria), amb el que es pot calcular un preu total de 2300 €.

En total, aquest projecte té un cost aproximat de 2450 €.

---

2 <http://www.libelium.com>

3 <http://es.rs-online.com>

4 <http://www.ondaradio.es>

5 <http://www.serveiestacio.com>

## Apèndix A: Entorn de desenvolupament

Per al desenvolupament d'aquest PFC s'han fet servir dues màquines diferents. Una és un Apple MacBook amb Mac OS X 10.4 i l'altra és un Acer Aspire One amb Ubuntu 8.10.

### *Instal·lació de l'IDE per a Arduino*

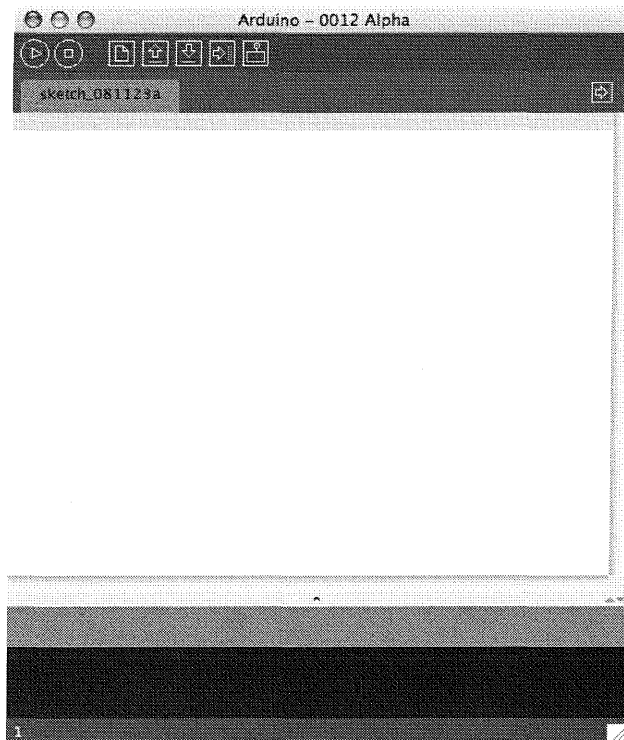
Al MacBook s'ha instal·lat l'entorn de desenvolupament que proporciona Arduino a la seva pàgina de descàrregues<sup>6</sup>. S'inclouen versions de l'IDE per a Windows, Linux i Mac OS X. En el moment d'escriure aquestes línies la versió de l'IDE és la **Arduino 0012**, de la qual descarregarem la versió per a OS X<sup>7</sup>.

Un cop descarregat l'arxiu zip, el descomprimim al mateix directori de descàrrega i obrim la carpeta **drivers**. L'arxiu **FTDIUSBSerialDriver\_v2\_2\_9\_Intel.dmg** que instal·larem conté els drivers necessaris per a que el MacBook reconegui el xip FTDI que incorporen les plaques Arduino per a la comunicació sèrie. La instal·lació d'aquests drivers requereix reiniciar la màquina.

---

<sup>6</sup> <http://arduino.cc/en/Main/Software>

<sup>7</sup> <http://www.arduino.cc/files/arduino-0012-mac.zip>

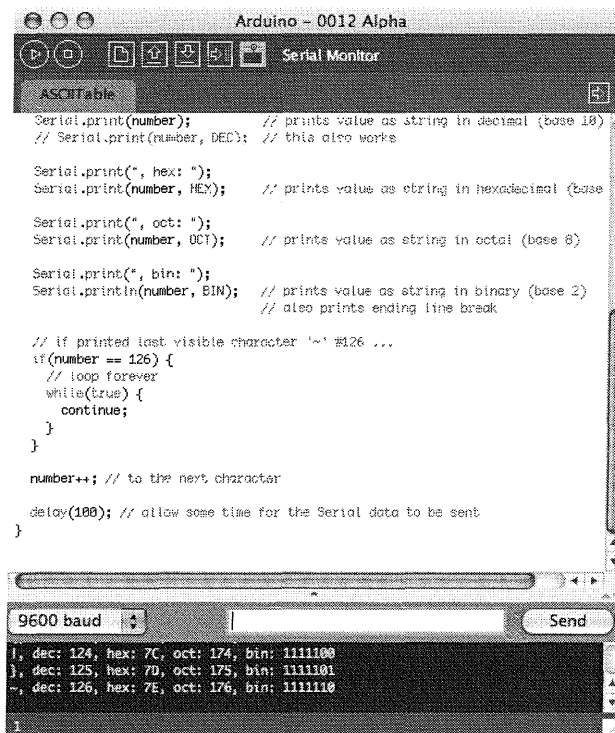


*Imatge 1: Entorn de programació d'Arduino*

Una vegada hem reiniciat, movem la carpeta **arduino-0012** al directori d'aplicacions d'OS X, l'obrim i iniciem el programa executant la icona **Arduino 12**.

Connectem la placa Arduino amb el nostre ordinador mitjançant el cable USB de tipus B. A l'IDE seleccionem la placa Diecimila fent clic a **Tools > Board > Arduino Diecimila**, i el port sèrie fent clic a **Tools > Serial Port > /dev/tty.usbserial-XXXXXXX**.

Per testejar que la placa funciona correctament, carreguem un codi d'exemple de les desenes que inclou el IDE. Per exemple, fem clic a **File > Sketchbook > Examples > Communication > ASCIITable** per obrir un codi que imprimeix per pantalla la taula ASCII generada dins de l'Arduino i que ens envia pel cable sèrie. Una vegada carregat aquest programa, fem clic a **Verify** i després a **Upload to I/O Board**. Per a veure el resultat, hem d'activar el monitor sèrie fent clic a **Serial Monitor**. Aquest monitor és molt útil per a debuggar el nostre codi.



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the Serial Monitor window open. The code in the editor is as follows:

```
Serial.print(number); // prints value as string in decimal (base 10)
// Serial.print(number, DEC); // this also works

Serial.print(", hex: ");
Serial.print(number, HEX); // prints value as string in hexadecimal (base 16)

Serial.print(", oct: ");
Serial.print(number, OCT); // prints value as string in octal (base 8)

Serial.print(", bin: ");
Serial.println(number, BIN); // prints value as string in binary (base 2)
// also prints ending line break

// if printed last visible character '~' #126 ...
if(number == 126) {
  // loop forever
  while(true) {
    continue;
  }
}

number++; // to the next character

delay(100); // allow some time for the Serial data to be sent
}
```

The Serial Monitor window shows the output of the code at 9600 baud:

```
[, dec: 124, hex: 7C, oct: 174, bin: 1111100
], dec: 125, hex: 7D, oct: 175, bin: 1111101
~, dec: 126, hex: 7E, oct: 176, bin: 1111110
```

*Imatge 2: Codi compilat, verificat i descarregat a la placa*

Una vegada hem comprovat que tant la compilació com la comunicació sèrie entre la placa Arduino i l'entorn de desenvolupament funcionen correctament, podem iniciar la programació del nostre projecte.

## ***Instal·lació de l'entorn Python (Mac OS X 10.4)***

Encara que Mac OS X ve preinstal·lat amb Python, a la pàgina oficial de Python<sup>8</sup> trobem un enllaç al projecte oficial per a Mac<sup>9</sup>. Cerquem l'instal·lador universal per a Intel i PPC de la versió 2.5<sup>10</sup> i el descarreguem.

Una vegada executem l'instal·lador, obrim el paquet **MacPython.mpkg**. Aquest ens instal·larà Python 2.5 a **/usr/local/bin/python2.5**.

## ***Instal·lació de l'entorn Python (Ubuntu 8.10)***

Ubuntu 8.10 porta Python 2.5 preinstal·lat, així que amb una actualització del sistema amb APT tindrem sempre la darrera versió disponible de Python. Tot i així, hem d'instal·lar també els paquets auxiliars, concretament PySerial<sup>11</sup> i PyQt<sup>12</sup>:

```
jp@ubuntu:~$ sudo apt-get update
jp@ubuntu:~$ sudo apt-get install python-serial python-qt4
```

---

8 <http://www.python.org/download/mac/>

9 <http://wiki.python.org/moin/MacPython>

10 <http://pythonmac.org/packages/py25-fat/dmg/python-2.5-macosx.dmg>

11 <http://pyserial.sourceforge.net/>

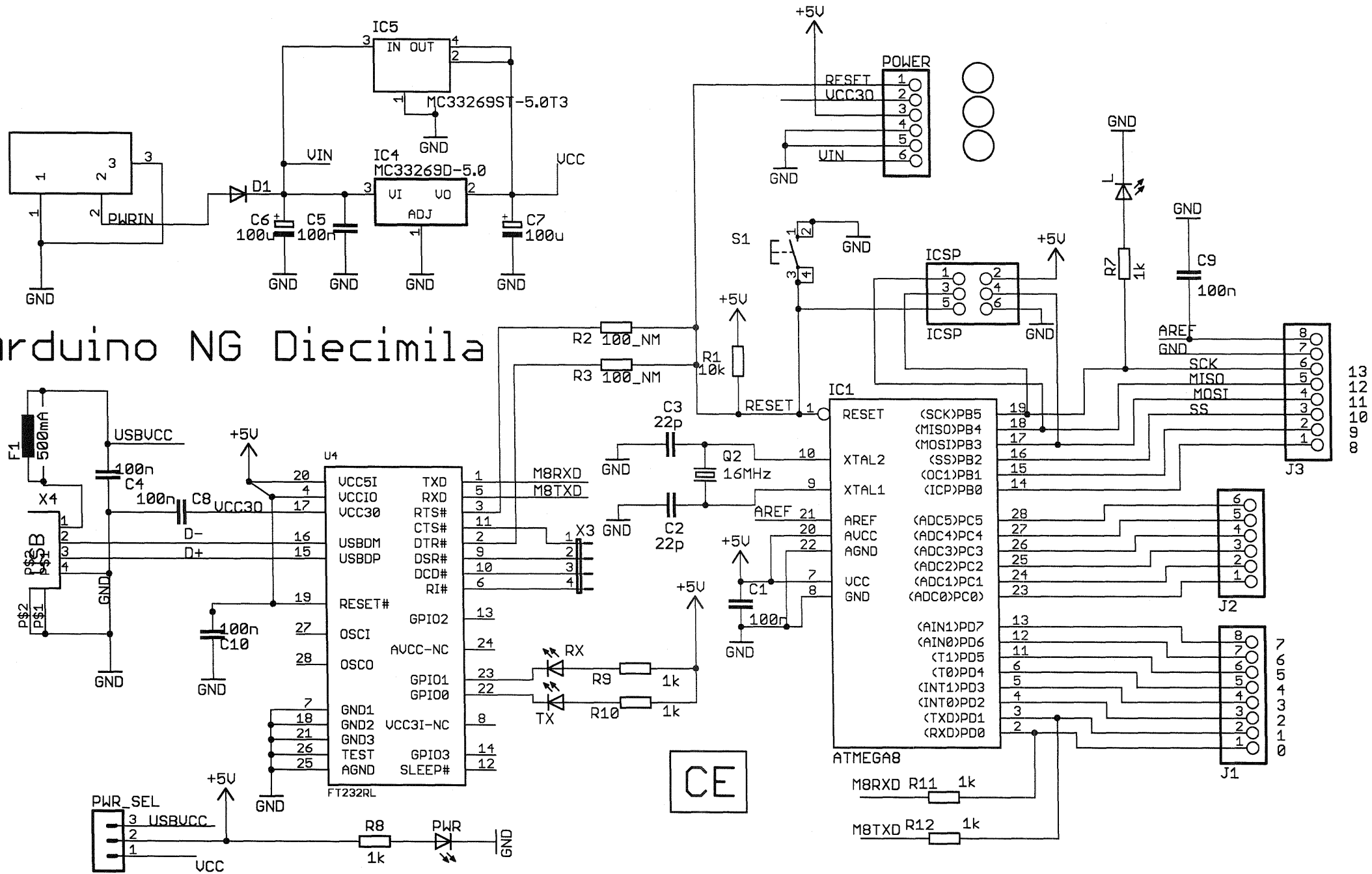
12 <http://www.riverbankcomputing.co.uk/software/pyqt/intro>



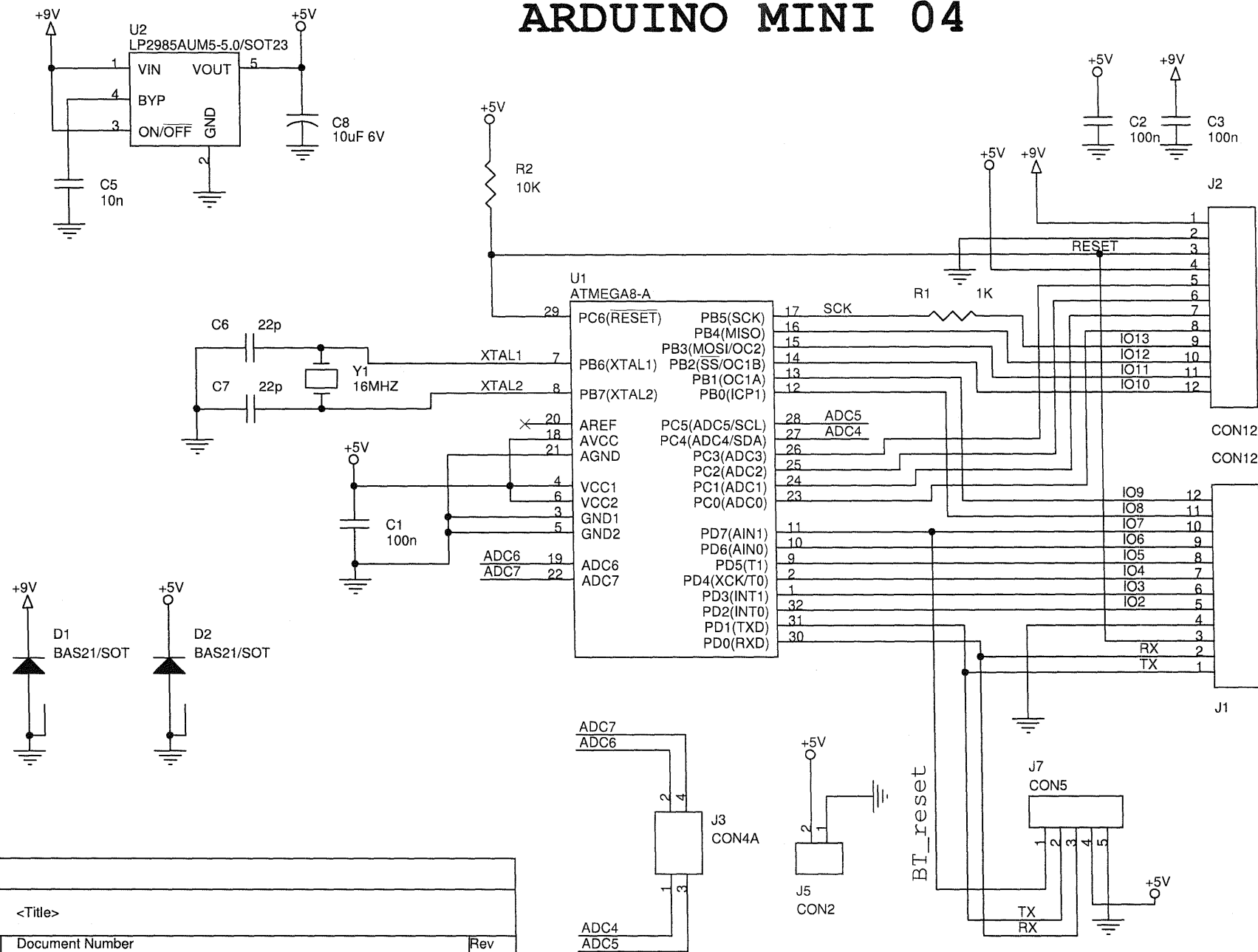
## Apèndix B: Especificació dels components

Tot seguit s'inclouen els *datasheets* dels components més importants fets servir durant aquest projecte: els LEDs i el optoacobladors. S'ometen els *datasheets* del microcontrolador ATmega donada la seva extensió, però s'inclouen els circuits de la placa Arduino Diecimila i de la placa Arduino Mini, així com el *datasheet* del xip FTDI del que Arduino depèn per a la seva comunicació sèrie.

# Arduino NG Diecimila



# ARDUINO MINI 04



|         |                           |              |
|---------|---------------------------|--------------|
| Title   |                           |              |
| <Title> |                           |              |
| Size    | Document Number           | Rev          |
| A       | <Doc>                     | ?            |
| Date:   | Wednesday, April 25, 2007 | Sheet 1 of 1 |

# T-1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> (5 mm) Precision Optical Performance AlInGaP LED Lamps

## Data Sheet

### SunPower Series

HLMP-ELxx

HLMP-EJxx

HLMP-EHxx

HLMP-EGxx

### Features

- Well Defined Spatial Radiation Patterns
- Viewing Angles: 6°, 15°, 23°, 30°
- High Luminous Output
- Colors:
  - 590 nm Amber
  - 605 nm Orange
  - 615 nm Reddish-Orange
  - 626 nm Red
- High Operating Temperature:  
 $T_{J\text{ LED}} = +130^{\circ}\text{C}$
- Superior Resistance to Moisture
- Package Options:  
With or Without Lead Stand-Offs

### Benefits

- Viewing Angles Match Traffic Management Sign Requirements
- Colors Meet Automotive and Pedestrian Signal Specifications
- Superior Performance in Outdoor Environments
- Suitable for Autoinsertion onto PC Boards

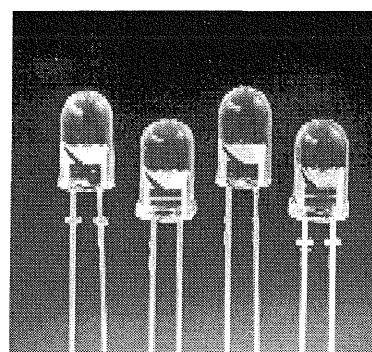
### Applications

- Traffic Management:
  - Traffic Signals
  - Pedestrian Signals
  - Work Zone Warning Lights
  - Variable Message Signs
- Commercial Outdoor Advertising:
  - Signs
  - Marquees
- Automotive:
  - Exterior and Interior Lights

### Description

These Precision Optical Performance AlInGaP LEDs provide superior light output for excellent readability in sunlight and are extremely reliable. AlInGaP LED technology provides extremely stable light output over long periods of time. Precision Optical Performance lamps utilize the aluminum indium gallium phosphide (AlInGaP) technology.

These LED lamps are untinted, nondiffused, T-1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> packages incorporating second generation optics producing well defined spatial radiation patterns at specific viewing cone angles.



These lamps are made with an advanced optical grade epoxy, offering superior high temperature and high moisture resistance performance in outdoor signal and sign applications. The high maximum LED junction temperature limit of +130° C enables high temperature operation in bright sunlight conditions. The package epoxy contains both uv-a and uv-b inhibitors to reduce the effects of long term exposure to direct sunlight.

These lamps are available in two package options to give the designer flexibility with device mounting.

## Device Selection Guide

| Typical Viewing Angle<br>$2\theta_{1/2}$<br>(Deg.) <sup>[4]</sup> | Color and Dominant Wavelength<br>(nm), Typ. <sup>[3]</sup> | Lamps Without Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing A) | Lamps With Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing B) | Luminous Intensity $I_v$ (mcd) <sup>[1,2]</sup><br>@ 20 mA |       |
|---|--|---|--|--|-------|
|   |  |   |  | Min.   | Max.  |
| 6° <sup>[5]</sup>   | Amber 590  | <b>HLMP-EL08-VY000</b>                                  | HLMP-EL10-VY000                                      | 4200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL08-VYK00*  |  | 4200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL08-VXK00*  |  | 4200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL08-VX400**                                       |  | 4200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL08-VX000   |  | 4200   | 9300  |
|   |  | <b>HLMP-EL08-WZ000</b>                                  | HLMP-EL10-WZ000                                      | 5500   | 16000 |
|   |  | HLMP-EL08-XZ400**                                       |  | 7200   | 16000 |
|   |  | HLMP-EL08-XZ000   |  | 7200   | 16000 |
|   |  | HLMP-EL08-XZK00*  |  | 7200   | 16000 |
|   |  | HLMP-EL08-XY000   |  | 7200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL08-XYK00*  |  | 7200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL08-X1K00*  |  | 7200   | 21000 |
|   |  | HLMP-EL08-X1000   | HLMP-EL10-X1000                                      | 7200   | 21000 |
|   | Orange 605   | <b>HLMP-EJ08-WZ000</b>                                  | HLMP-EJ10-WZ000                                      | 5500   | 16000 |
|   |  | HLMP-EJ08-X1000   | HLMP-EJ10-X1000                                      | 7200   | 21000 |
|   |  | HLMP-EJ08-Y2000   | HLMP-EJ10-Y2000                                      | 9300   | 27000 |
|   | Red-Orange 615   | HLMP-EH08-UX000   | HLMP-EH10-UX000                                      | 3200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EH08-VY000   | HLMP-EH10-VY000                                      | 4200   | 12000 |
|   |  | <b>HLMP-EH08-WZ000</b>                                  | HLMP-EH10-WZ000                                      | 5500   | 16000 |
|   |  | HLMP-EH08-X1000   | HLMP-EH10-X1000                                      | 7200   | 21000 |
|   |  | <b>HLMP-EH08-Y2000</b>                                  | HLMP-EH10-Y2000                                      | 9300   | 21000 |
|   | Red 626  | HLMP-EG08-VW000   |  | 4200   | 7200  |
|   |  | HLMP-EG08-VY000   | HLMP-EG10-VY000                                      | 4200   | 12000 |
|   |  | <b>HLMP-EG08-WZ000</b>                                  | HLMP-EG10-WZ000                                      | 5500   | 16000 |
|   |  | HLMP-EG08-X1000   | HLMP-EG10-X1000                                      | 7200   | 21000 |
|   |  | HLMP-EG08-YZ000   |  | 9300   | 16000 |
|   |  | HLMP-EG08-Y1000   |  | 9300   | 21000 |
|   |  | <b>HLMP-EG08-Y2000</b>                                  | HLMP-EG10-Y2000                                      | 9300   | 27000 |

### Notes:

1. The luminous intensity is measured on the mechanical axis of the lamp package.
2. The optical axis is closely aligned with the package mechanical axis.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$ , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the lamp.
4.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is one half the on-axis intensity.
5. The intensity of narrow viewing angle lamps is measured at the intensity peak.

Part numbers in **bold** are recommended for new designs.

\*HLMP-xLxx-xxK00 are selected to amber color bins 2 and 4 only.

\*\*HLMP-xLxx-xx400 are selected to amber color bin 4 only.

## Device Selection Guide (Continued)

| Typical Viewing Angle<br>$2\theta_{1/2}$<br>(Deg.) <sup>[4]</sup> | Color and Dominant Wavelength<br>(nm), Typ. <sup>[3]</sup> | Lamps Without Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing A) | Lamps With Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing B) | Luminous Intensity $I_v$ (mcd) <sup>[1,2]</sup><br>@ 20 mA |       |
|---|--|---|--|--|-------|
|   |  |   |  | Min.   | Max.  |
| 15°   | Amber 590  | <b>HLMP-EL15-PS000</b>                                  | HLMP-EL17-PS000                                      | 880  | 2500  |
|   |  | HLMP-EL15-QR000   |  | 1150   | 1900  |
|   |  | HLMP-EL15-QRK00*  |  | 1150   | 1900  |
|   |  | HLMP-EL15-QS000   |  | 1150   | 2500  |
|   |  | HLMP-EL15-QS400**                                       |  | 1150   | 2500  |
|   |  | HLMP-EL15-QSK00*  |  | 1150   | 2500  |
|   |  | <b>HLMP-EL15-QT000</b>                                  | HLMP-EL17-QT000                                      | 1150   | 3200  |
|   |  | HLMP-EL15-QTK00*  |  | 1150   | 3200  |
|   |  | HLMP-EL15-RU000   | HLMP-EL17-RU000                                      | 1500   | 4200  |
|   |  |   | HLMP-EL17-SV000                                      | 1900   | 5500  |
|   |  | HLMP-EL15-TW000   | HLMP-EL17-TW000                                      | 2500   | 7200  |
|   |  | HLMP-EL15-TWK00*  |  | 2500   | 7200  |
|   |  | HLMP-EL15-TUK00*  |  | 2500   | 4200  |
|   |  | HLMP-EL15-TV400**                                       |  | 2500   | 5500  |
|   |  | HLMP-EL15-UX000   | HLMP-EL17-UX000                                      | 3200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL15-VY000   | HLMP-EL17-VY000                                      | 4200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL15-VYK00*  |  | 4200   | 12000 |
|   |  | HLMP-EL15-VX000   |  | 4200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL15-VXK00*  |  | 4200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL15-VX400**                                       |  | 4200   | 9300  |
|   |  | HLMP-EL15-VW000*  |  | 4200   | 7200  |
|   |  | HLMP-EL15-VWK00*  |  | 4200   | 7200  |
|   | Orange 605   | HLMP-EJ15-PS000   |  | 880  | 2500  |
|   |  | <b>HLMP-EJ15-RU000</b>                                  | HLMP-EJ17-RU000                                      | 1500   | 4200  |
|   |  | HLMP-EJ15-SV000   | HLMP-EJ17-SV000                                      | 1900   | 5500  |
|   | Red-Orange 615   | <b>HLMP-EH15-QT000</b>                                  | HLMP-EH17-QT000                                      | 1150   | 3200  |
|   |  | HLMP-EH15-RU000   | HLMP-EH17-RU000                                      | 1500   | 4200  |
|   |  | HLMP-EH15-TW000   | HLMP-EH17-TW000                                      | 2500   | 7200  |
|   |  | HLMP-EH15-UX000   | HLMP-EH17-UX000                                      | 3200   | 9300  |

## Notes:

1. The luminous intensity is measured on the mechanical axis of the lamp package.
2. The optical axis is closely aligned with the package mechanical axis.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$ , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the lamp.
4.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is one half the on-axis intensity.
5. The intensity of narrow viewing angle lamps is measured at the intensity peak.

Part numbers in **bold** are recommended for new designs.

\*HLMP-xLxx-xxK00 are selected to amber color bins 2 and 4 only.

\*\*HLMP-xLxx-xx400 are selected to amber color bin 4 only.

### Device Selection Guide (Continued)

| Typical Viewing Angle<br>$2\theta_{1/2}$<br>(Deg.) <sup>[4]</sup> | Color and Dominant Wavelength<br>(nm), Typ. <sup>[3]</sup> | Lamps Without Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing A) | Lamps With Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing B) | Luminous Intensity $I_v$ (mcd) <sup>[1,2]</sup><br>@ 20 mA |      |
|---|--|---|--|--|------|
|   |  |   |  | Min.   | Max. |
| 15°   | Red 626  | HLMP-EG15-PS000   |  | 880  | 2500 |
|   |  | <b>HLMP-EG15-QT000</b>                                  | HLMP-EG17-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EG15-RU000   | HLMP-EG17-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   |  | HLMP-EG15-UX000   | HLMP-EG17-UX000                                      | 3200   | 9300 |
|   |  | HLMP-EG15-TW000   | HLMP-EG17-TW000                                      | 2500   | 7200 |
| 23°   | Amber 590  | HLMP-EL24-MQ000   |  | 520  | 1500 |
|   |  | <b>HLMP-EL24-NR000</b>                                  | HLMP-EL26-NR000                                      | 680  | 1900 |
|   |  | HLMP-EL24-PS000   | HLMP-EL26-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EL24-PSK00*  |  | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EL24-PR400**                                       |  | 880  | 1900 |
|   |  | HLMP-EL24-PQK00*  |  | 880  | 1500 |
|   |  | HLMP-EL24-QR000   |  | 1150   | 1900 |
|   |  | HLMP-EL24-QRK00*  |  | 1150   | 1900 |
|   |  | HLMP-EL24-QS000   |  | 1150   | 2500 |
|   |  | HLMP-EL24-QSK00*  |  | 1150   | 2500 |
|   |  | HLMP-EL24-QS400**                                       |  | 1150   | 2500 |
|   |  | <b>HLMP-EL24-QT000</b>                                  | HLMP-EL26-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL24-QTK00*  |  | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL24-RU000   | HLMP-EL26-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   |  | HLMP-EL24-RUK00*  |  | 1500   | 4200 |
|   |  |   | HLMP-EL26-SV000                                      | 1900   | 5500 |
|   |  | HLMP-EL24-STK00*  |  | 1900   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL24-SUK00*  |  | 1900   | 4200 |
|   |  | HLMP-EL24-SU400**                                       |  | 1900   | 4200 |
|   |  | HLMP-EL24-SV000   |  | 1900   | 5500 |
|   |  | HLMP-EL24-SVK00*  |  | 1900   | 5500 |
|   |  | HLMP-EL24-TW000   | HLMP-EL26-TW000                                      | 2500   | 7200 |
|   |  | HLMP-EL24-TWK00*  |  | 2500   | 7200 |

#### Notes:

1. The luminous intensity is measured on the mechanical axis of the lamp package.
2. The optical axis is closely aligned with the package mechanical axis.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$ , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the lamp.
4.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is one half the on-axis intensity.
5. The intensity of narrow viewing angle lamps is measured at the intensity peak.

Part numbers in **bold** are recommended for new designs.

\*HLMP-xLxx-xxK00 are selected to amber color bins 2 and 4 only.

\*\*HLMP-xLxx-xx400 are selected to amber color bin 4 only.

### Device Selection Guide (Continued)

| Typical Viewing Angle<br>$2\theta_{1/2}$<br>(Deg.) <sup>[4]</sup> | Color and Dominant Wavelength<br>(nm), Typ. <sup>[3]</sup> | Lamps Without Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing A) | Lamps With Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing B) | Luminous Intensity $I_v$ (mcd) <sup>[1,2]</sup><br>@ 20 mA |      |
|---|--|---|--|--|------|
|   |  |   |  | Min.   | Max. |
| 23°   | Orange 605   | <b>HLMP-EJ24-QT000</b>                                  | HLMP-EJ26-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EJ24-RU000   | HLMP-EJ26-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   | Red-Orange 615   |   | HLMP-EH26-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EH24-QT000   | HLMP-EH26-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | <b>HLMP-EH24-RU000</b>                                  | HLMP-EH26-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   | Red 626  | HLMP-EH24-SV000   | HLMP-EH26-SV000                                      | 1900   | 5500 |
|   |  | <b>HLMP-EG24-PS000</b>                                  | HLMP-EG26-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EG24-QT000   | HLMP-EG26-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | <b>HLMP-EG24-RU000</b>                                  | HLMP-EG26-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   |  |   |  |  |      |
| 30°   | Amber 590  | <b>HLMP-EL30-MQ000</b>                                  | HLMP-EL32-MQ000                                      | 520  | 1500 |
|   |  | HLMP-EL30-NR000   | HLMP-EL32-NR000                                      | 680  | 1900 |
|   |  | HLMP-EL30-PQ000   |  | 880  | 1500 |
|   |  | HLMP-EL30-PQK00*  |  | 880  | 1500 |
|   |  | HLMP-EL30-PR000   |  | 880  | 1900 |
|   |  | HLMP-EL30-PR400**                                       |  | 880  | 1900 |
|   |  | HLMP-EL30-PRK00*  |  | 880  | 1900 |
|   |  | <b>HLMP-EL30-PS000</b>                                  | HLMP-EL32-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EL30-PSK00*  |  | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EL30-QRK00*  |  | 1150   | 1900 |
|   |  | HLMP-EL30-QS000   |  | 1150   | 2500 |
|   |  | HLMP-EL30-QS400**                                       |  | 1150   | 2500 |
|   |  | HLMP-EL30-QT000   | HLMP-EL32-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL30-QTK00*  |  | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL30-ST000   |  | 1900   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL30-SU000   |  | 1900   | 4200 |
|   |  | HLMP-EL30-SU400**                                       |  | 1900   | 4200 |
|   |  | HLMP-EL30-SUK00*  |  | 1900   | 4200 |

#### Notes:

1. The luminous intensity is measured on the mechanical axis of the lamp package.
2. The optical axis is closely aligned with the package mechanical axis.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$ , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the lamp.
4.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is one half the on-axis intensity.
5. The intensity of narrow viewing angle lamps is measured at the intensity peak.

Part numbers in **bold** are recommended for new designs.

\*HLMP-xLxx-xxK00 are selected to amber color bins 2 and 4 only.

\*\*HLMP-xLxx-xx400 are selected to amber color bin 4 only.



### Device Selection Guide (Continued)

| Typical Viewing Angle<br>$2\theta_{1/2}$<br>(Deg.) <sup>[4]</sup> | Color and Dominant Wavelength<br>(nm), Typ. <sup>[3]</sup> | Lamps Without Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing A) | Lamps With Standoffs on Leads<br>(Outline Drawing B) | Luminous Intensity $I_v$ (mcd) <sup>[1,2]</sup><br>@ 20 mA |      |
|---|--|---|--|--|------|
|   |  |   |  | Min.   | Max. |
| 30°   | Amber  | HLMP-EL30-STK00*  |  | 1900   | 3200 |
|   |  | HLMP-EL30-SV000   |  | 1900   | 5500 |
|   |  | HLMP-EL30-SVK00*  |  | 1900   | 5500 |
|   |  |   | HLMP-EL32-SV000                                      | 1900   | 5500 |
|   | Orange 605   | HLMP-EJ30-MQ000   |  | 520  | 1500 |
|   |  | <b>HLMP-EJ30-NR000</b>                                  | HLMP-EJ32-NR000                                      | 680  | 1900 |
|   |  | HLMP-EJ30-PS000   | HLMP-EJ32-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   | Red-Orange 615   | <b>HLMP-EH30-MQ000</b>                                  | HLMP-EH32-MQ000                                      | 520  | 1500 |
|   |  | HLMP-EH30-NR000   | HLMP-EH32-NR000                                      | 680  | 1900 |
|   |  | <b>HLMP-EH30-PS000</b>                                  | HLMP-EH32-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EH30-QT000   | HLMP-EH32-QT000                                      | 1150   | 3200 |
|   |  | HLMP-EH30-RU000   | HLMP-EH32-RU000                                      | 1500   | 4200 |
|   | Red 626  | HLMP-EG30-KN000   |  | 310  | 880  |
|   |  | <b>HLMP-EG30-MQ000</b>                                  | HLMP-EG32-MQ000                                      | 520  | 1500 |
|   |  | HLMP-EG30-NQ000   |  | 680  | 1500 |
|   |  | HLMP-EG30-NR000   | HLMP-EG32-NR000                                      | 680  | 1900 |
|   |  | HLMP-EG30-PQ000   |  | 880  | 1500 |
|   |  | HLMP-EG30-PR000   |  | 880  | 1900 |
|   |  | <b>HLMP-EG30-PS000</b>                                  | HLMP-EG32-PS000                                      | 880  | 2500 |
|   |  | HLMP-EG30-QT000   | HLMP-EG32-QT000                                      | 1150   | 3200 |

#### Notes:

1. The luminous intensity is measured on the mechanical axis of the lamp package.
2. The optical axis is closely aligned with the package mechanical axis.
3. The dominant wavelength,  $\lambda_d$ , is derived from the CIE Chromaticity Diagram and represents the color of the lamp.
4.  $\theta_{1/2}$  is the off-axis angle where the luminous intensity is one half the on-axis intensity.
5. The intensity of narrow viewing angle lamps is measured at the intensity peak.

Part numbers in **bold** are recommended for new designs.

\*HLMP-xLxx-xxK00 are selected to amber color bins 2 and 4 only.

\*\*HLMP-xLxx-xx400 are selected to amber color bin 4 only.

## Part Numbering System

HLMP - X X XX - X X X XX

### Mechanical Options

00: Bulk Packaging  
DD: Ammo Pack  
YY: Flexi-Bin; Bulk Packaging  
ZZ: Flexi-Bin; Ammo Pack

### Color Bin Selections

0: No color bin limitation  
4: Amber color bin 4 only  
K: Amber color bins 2 and 4 only

### Maximum Intensity Bin

0: No Iv bin limitation

### Minimum Intensity Bin

### Viewing Angle & Lead Stand Offs

08: 6 deg without lead stand offs  
10: 6 deg with lead stand offs  
15: 15 deg without lead stand offs  
17: 15 deg with lead stand offs  
24: 23 deg without lead stand offs  
26: 23 deg with lead stand offs  
30: 30 deg without lead stand offs  
32: 30 deg with lead stand offs

### Color

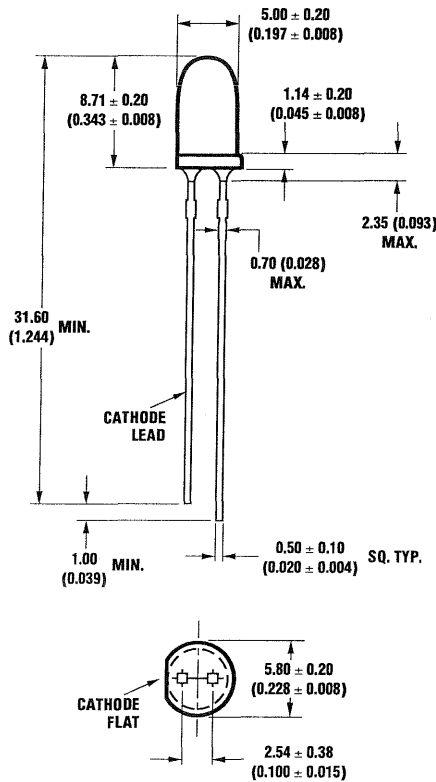
G: 626 nm Red  
H: 615 nm Red-Orange  
J: 605 nm Orange  
L: 590 nm Amber

### Package

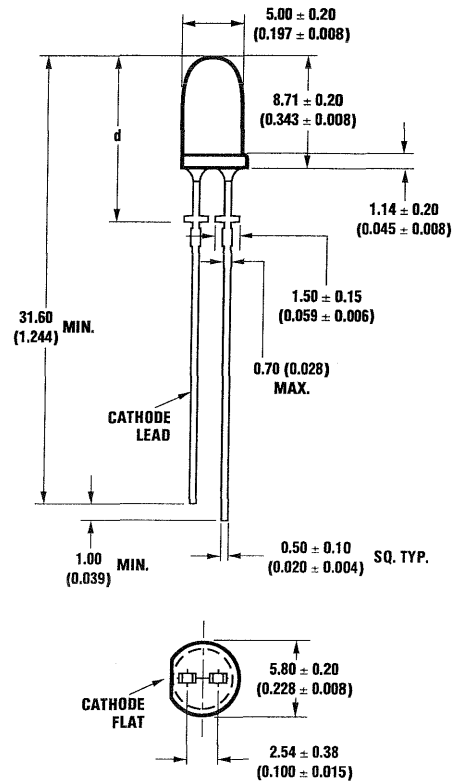
E: 5 mm Round

## Package Dimensions

**A**



**B**



### NOTES:

- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES).
- LEADS ARE MILD STEEL, SOLDER DIPPED.
- TAPERS SHOWN AT TOP OF LEADS (BOTTOM OF LAMP PACKAGE) INDICATE AN EPOXY MENISCUS THAT MAY EXTEND ABOUT 1 mm (0.040 in.) DOWN THE LEADS.
- RECOMMENDED PC BOARD HOLE DIAMETERS:
  - LAMP PACKAGE A WITHOUT STAND-OFFS: FLUSH MOUNTING AT BASE OF LAMP PACKAGE = 1.143/1.067 (0.044/0.042).
  - LAMP PACKAGE B WITH STAND-OFFS: MOUNTING AT LEAD STAND-OFFS = 0.965/0.889 (0.038/0.035).
- FOR DOME HEIGHTS ABOVE LEAD STAND-OFF SEATING PLANE, *d*, LAMP PACKAGE B, SEE TABLE.

| PART NO.  | <i>d</i>                        |
|-----------|---------------------------------|
| HLMP-XX10 | 12.37 ± 0.25<br>(0.487 ± 0.010) |
| HLMP-XX17 | 12.42 ± 0.25<br>(0.489 ± 0.010) |
| HLMP-XX26 | 12.52 ± 0.25<br>(0.493 ± 0.010) |
| HLMP-XX32 | 11.96 ± 0.25<br>(0.471 ± 0.010) |

### Absolute Maximum Ratings at $T_A = 25^\circ\text{C}$

|  |                     |
|--|---------------------|
| DC Forward Current <sup>[1,2,3]</sup>        | 50 mA               |
| Peak Pulsed Forward Current <sup>[2,3]</sup> | 100 mA              |
| Average Forward Current <sup>[3]</sup>       | 30 mA               |
| Reverse Voltage ( $I_R = 100\ \mu\text{A}$ ) | 5 V                 |
| LED Junction Temperature                     | 130°C               |
| Operating Temperature                        | -40°C to +100°C     |
| Storage Temperature                          | -40°C to +120°C     |
| Wave Solder Temperature                      | 250°C for 3 seconds |
| [1.59 mm (0.060 in.) below body]             |                     |

#### Notes:

1. Derate linearly as shown in Figure 4.
2. For long term performance with minimal light output degradation, drive currents between 10 mA and 30 mA are recommended. For more information on recommended drive conditions, please refer to Application Brief I-024 (5966-3087E).
3. Operating at currents below 1 mA is not recommended. Please contact your local representative for further information.

### Electrical/Optical Characteristics at $T_A = 25^\circ\text{C}$

| Parameter  | Symbol                  | Min. | Typ.                         | Max. | Units | Test Conditions   |
|--|-------------------------|------|------------------------------|------|-------|---|
| Forward Voltage<br>Amber ( $\lambda_d = 590\text{ nm}$ )<br>Orange ( $\lambda_d = 605\text{ nm}$ )<br>Red-Orange ( $\lambda_d = 615\text{ nm}$ )<br>Red ( $\lambda_d = 626\text{ nm}$ )                  | $V_F$                   |      | 2.02<br>1.98<br>1.94<br>1.90 | 2.4  | V     | $I_F = 20\text{ mA}$  |
| Reverse Voltage  | $V_R$                   | 5    | 20                           |      | V     | $I_F = 100\ \mu\text{A}$  |
| Peak Wavelength:<br>Amber ( $\lambda_d = 590\text{ nm}$ )<br>Orange ( $\lambda_d = 605\text{ nm}$ )<br>Red-Orange ( $\lambda_d = 615\text{ nm}$ )<br>Red ( $\lambda_d = 626\text{ nm}$ )                 | $\lambda_{\text{PEAK}}$ |      | 592<br>609<br>621<br>635     |      | nm    | Peak of Wavelength of Spectral Distribution at $I_F = 20\text{ mA}$                 |
| Spectral Halfwidth   | $\Delta\lambda_{1/2}$   |      | 17                           |      | nm    | Wavelength Width at Spectral Distribution $1/2$ Power Point at $I_F = 20\text{ mA}$ |
| Speed of Response  | $\tau_s$                |      | 20                           |      | ns    | Exponential Time Constant, $e^{-t/\tau_s}$  |
| Capacitance  | C                       |      | 40                           |      | pF    | $V_F = 0$ , $f = 1\text{ MHz}$  |
| Thermal Resistance   | $R\theta_{J-PIN}$       |      | 240                          |      | °C/W  | LED Junction-to-Cathode Lead  |
| Luminous Efficacy <sup>[1]</sup><br>Amber ( $\lambda_d = 590\text{ nm}$ )<br>Orange ( $\lambda_d = 605\text{ nm}$ )<br>Red-Orange ( $\lambda_d = 615\text{ nm}$ )<br>Red ( $\lambda_d = 626\text{ nm}$ ) | $\eta_v$                |      | 480<br>370<br>260<br>150     |      | lm/W  | Emitted Luminous Power/Emitted Radiant Power  |

#### Note:

1. The radiant intensity,  $I_e$ , in watts per steradian, may be found from the equation  $I_e = I_v/\eta_v$ , where  $I_v$  is the luminous intensity in candelas and  $\eta_v$  is the luminous efficacy in lumens/watt.

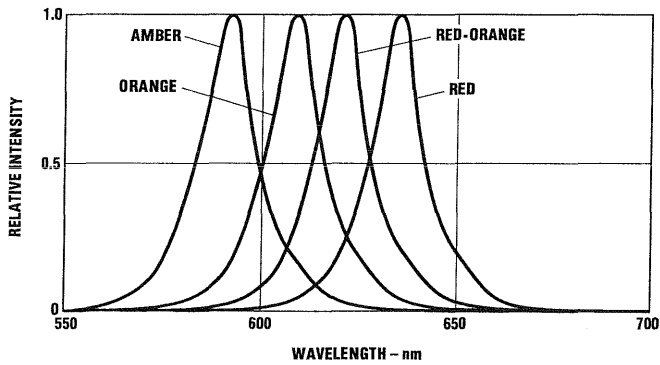


Figure 1. Relative Intensity vs. Peak Wavelength.

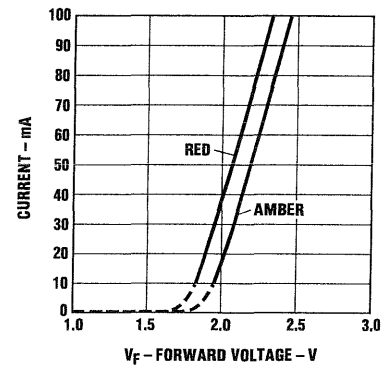


Figure 2. Forward Current vs. Forward Voltage.

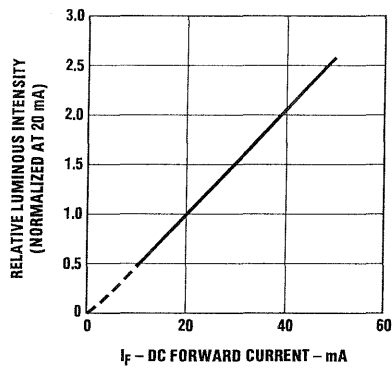


Figure 3. Relative Luminous Intensity vs. Forward Current.

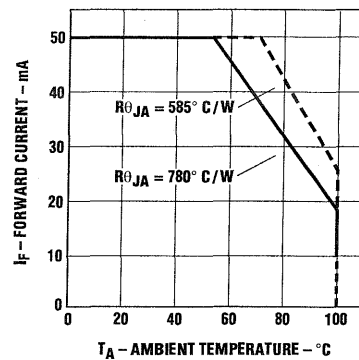
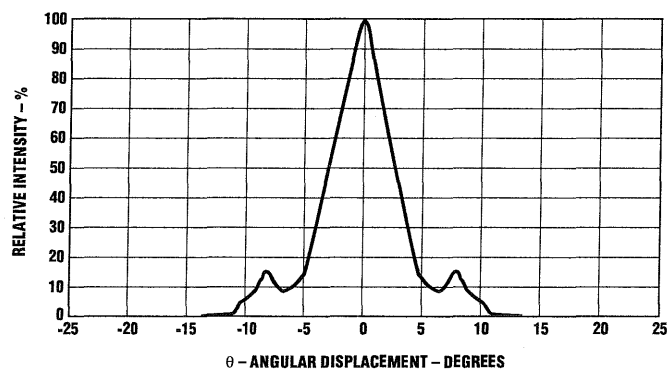
Figure 4. Maximum Forward Current vs. Ambient Temperature. Derating Based on  $T_{JMAX} = 130^\circ \text{C}$ .

Figure 5. Representative Spatial Radiation Pattern for 6° Viewing Angle Lamps.

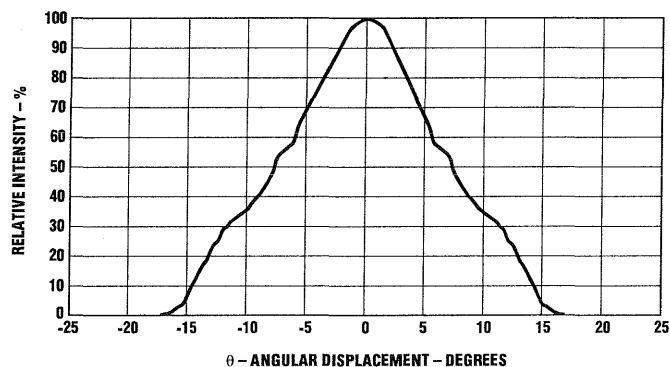


Figure 6. Representative Spatial Radiation Pattern for 15° Viewing Angle Lamps.

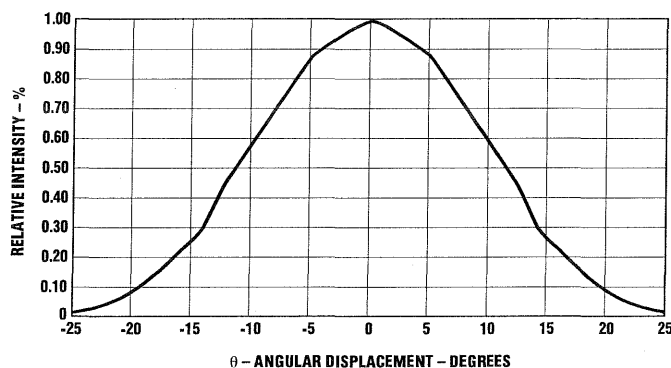


Figure 7. Representative Spatial Radiation Pattern for 23° Viewing Angle Lamps.

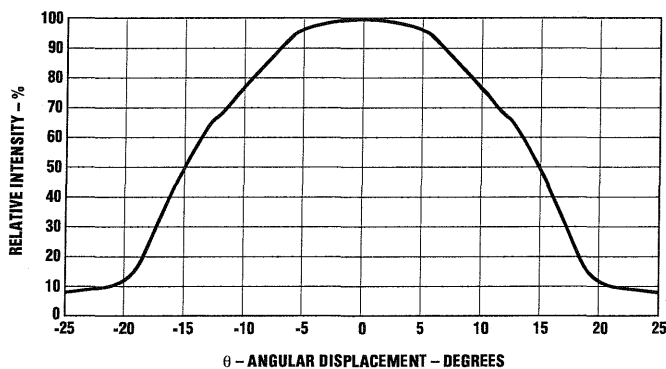


Figure 8. Representative Spatial Radiation Pattern for 30° Viewing Angle Lamps.

### Intensity Bin Limits (mcd at 20 mA)

| Bin Name | Min.  | Max.  |
|----------|-------|-------|
| K        | 310   | 400   |
| L        | 400   | 520   |
| M        | 520   | 680   |
| N        | 680   | 880   |
| P        | 880   | 1150  |
| Q        | 1150  | 1500  |
| R        | 1500  | 1900  |
| S        | 1900  | 2500  |
| T        | 2500  | 3200  |
| U        | 3200  | 4200  |
| V        | 4200  | 5500  |
| W        | 5500  | 7200  |
| X        | 7200  | 9300  |
| Y        | 9300  | 12000 |
| Z        | 12000 | 16000 |
| 1        | 16000 | 21000 |
| 2        | 21000 | 27000 |

Tolerance for each bin limit is  $\pm 15\%$ .

### Amber Color Bin Limits (nm at 20 mA)

| Bin Name | Min.  | Max.  |
|----------|-------|-------|
| 1        | 584.5 | 587.0 |
| 2        | 587.0 | 589.5 |
| 4        | 589.5 | 592.0 |
| 6        | 592.0 | 594.5 |

Tolerance for each bin limit is  $\pm 0.5$  nm.

#### Note:

- Bin categories are established for classification of products. Products may not be available in all bin categories.



**[www.agilent.com/semiconductors](http://www.agilent.com/semiconductors)**

For product information and a complete list of distributors, please go to our web site.

For technical assistance call:

Americas/Canada: +1 (800) 235-0312 or  
(916) 788-6763

Europe: +49 (0) 6441 92460

China: 10800 650 0017

Hong Kong: (+65) 6756 2394

India, Australia, New Zealand: (+65) 6755 1939

Japan: (+81 3) 3335-8152 (Domestic/International), or 0120-61-1280 (Domestic Only)

Korea: (+65) 6755 1989

Singapore, Malaysia, Vietnam, Thailand,  
Philippines, Indonesia: (+65) 6755 2044

Taiwan: (+65) 6755 1843

Data subject to change.

Copyright © 2004 Agilent Technologies, Inc.

Obsoletes 5988-4275EN

August 13, 2004

5989-0659EN

Part Number: KB817

**GENERAL PURPOSE  
HIGH ISOLATION VOLTAGE  
SINGLE TRANSISTOR TYPE  
PHOTOCOUPLER SERIES**

### FEATURES

- 1.High isolation voltage between input and output (Viso=5000 Vrms).
- 2.Compact dual-in-line package  
KB817:1-channel type
- 3.Recognized by UL and CUL, file NO.E225308.
- 4.Approved by VDE 0884 Teil2(NO:40006364)  
(Creepage distance between input and output:7mm or more).
- 5.RoHS compliant.

### DESCRIPTION

- 1.The KB817 (1-channel) is optically coupled isolators containing a GaAS light emitting diode and an NPN silicon phototransistor.
- 2.The lead pitch is 2.54mm.
- 3.Solid insulation thickness between emitting diode and output phototransistor: $\geq 0.6\text{mm}$ .

### APPLICATIONS

- 1.Computer terminals.
- 2.Registers,copiers,automatic vending machines.
- 3.System appliances, measuring instruments.
- 4.Programmable logic controller.
- 5.Signal transmission between circuits of different potentials and impedances.





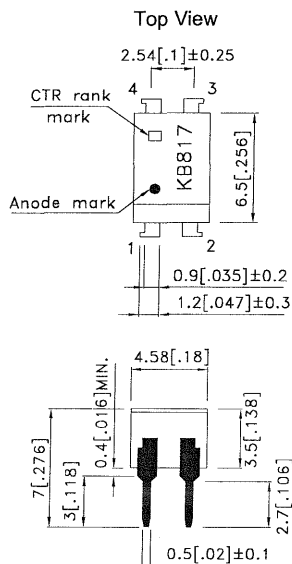
Part Number: KB817

### \*PACKAGE DIMENSIONS (UNIT:mm)

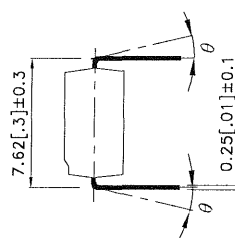
DIP Type

TOLERANCE :  $\pm 0.5[\pm 0.02]$  UNLESS OTHERWISE NOTED.

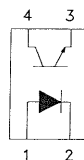
KB817



Internal connection diagram



$\theta = 0 \text{ to } 13^\circ$



1 Anode 2 Cathode 3 Emitter 4 Collector

### \*Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

| Parameter                |                             | Symbol           | Rating   | Unit |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|----------|------|
| Input                    | Forward current             | $I_F$            | 50       | mA   |
|                          | Reverse voltage             | $V_R$            | 6        | V    |
|                          | Power dissipation           | P                | 70       | mW   |
| Output                   | Collector-emitter voltage   | $V_{CEO}$        | 35       | V    |
|                          | Emitter-collector voltage   | $V_{ECO}$        | 6        | V    |
|                          | Collector current           | $I_C$            | 50       | mA   |
|                          | Collector power dissipation | $P_C$            | 150      | mW   |
| Total power dissipation  |                             | P <sub>tot</sub> | 200      | mW   |
| *1 Isolation voltage     |                             | Viso             | 5000     | Vrms |
| Operating temperature    |                             | Topr             | -30~+100 | °C   |
| Storage temperature      |                             | Tstg             | -55~+125 | °C   |
| *2 Soldering temperature |                             | Tsol             | 260      | °C   |

\*1 40 to 60% RH, AC for 1 minute.

\*2 For 10 seconds.

Part Number: KB817

### \*Electro-optical Characteristics

| Parameter                |                                      | Symbol        | Conditions                                    | Min. | Typ. | Max.      | Unit    |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------|---|------|------|-----------|---------|
| Input                    | Forward voltage                      | $V_F$         | $I_F=20mA$                                    | —    | 1.2  | 1.4       | V       |
|                          | Peak forward voltage                 | $V_{FM}$      | $I_{FM}=0.5A$                                 | —    | —    | 3.0       | V       |
|                          | Reverse current                      | $I_R$         | $V_R=4V$                                      | —    | —    | 10        | $\mu A$ |
| Output                   | Collector dark current               | $I_{CEO}$     | $V_{CE}=20V, I_F=0mA$                         | —    | —    | $10^{-7}$ | A       |
| Transfer characteristics | *1Current transfer ratio             | CTR           | $I_F=5mA, V_{CE}=5V$                          | 50   | —    | 600       | %       |
|                          | Collector-emitter saturation voltage | $V_{CE(sat)}$ | $I_F=20mA, I_C=1mA$                           | —    | 0.1  | 0.2       | V       |
|                          | Cut-off frequency                    | $f_c$         | $V_{CE}=5V, I_C=2mA$<br>$R_L=100\Omega, -3dB$ | —    | 80   | —         | KHz     |
|                          | Response time                        | Rise time     | $V_{CE}=2V, I_C=2mA$<br>$R_L=100\Omega$       | —    | 4    | 18        | $\mu s$ |
|                          |                                      | Fall time     |   | —    | 3    | 18        | $\mu s$ |

\*1 Classification table of current transfer ratio is shown below.

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100\%$$

| Model No. | Rank mark            | CTR(%)     |
|-----------|----------------------|------------|
| KB817L    | L                    | 50 to 100  |
| KB817A    | A                    | 80 to 160  |
| KB817B    | B                    | 130 to 260 |
| KB817C    | C                    | 200 to 400 |
| KB817D    | D                    | 300 to 600 |
| KB817AB   | A or B               | 80 to 260  |
| KB817BC   | B or C               | 130 to 400 |
| KB817CD   | C or D               | 200 to 600 |
| KB817AC   | A,B or C             | 80 to 400  |
| KB817BD   | B,C or D             | 130 to 600 |
| KB817AD   | A,B,C or D           | 80 to 600  |
| KB817     | L,A,B,C,D or No mark | 50 to 600  |

Fig. 1 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

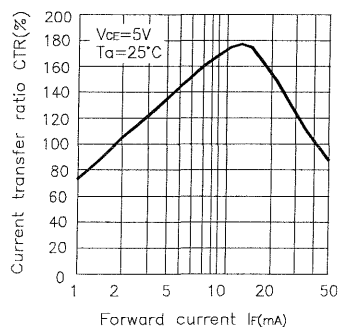


Fig. 2 Forward Current vs. Forward voltage

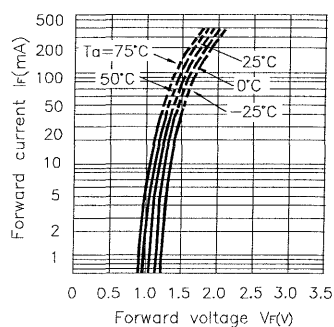


Fig. 3 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

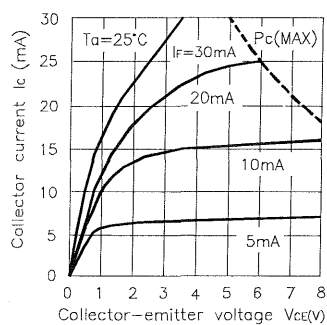


Fig. 4 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

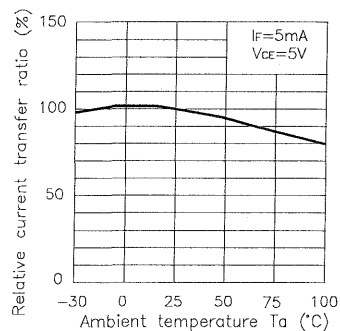


Fig. 5 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

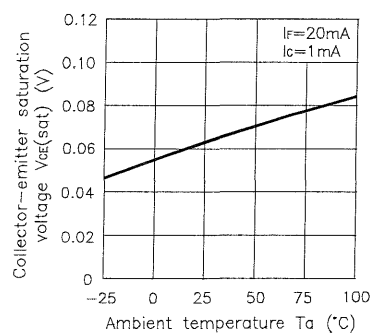
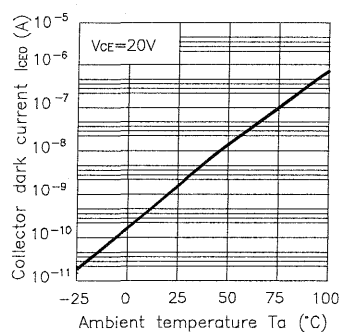
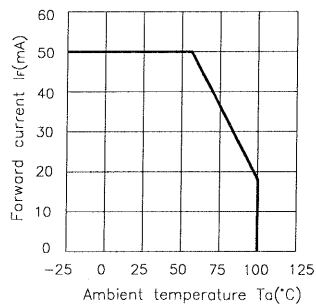


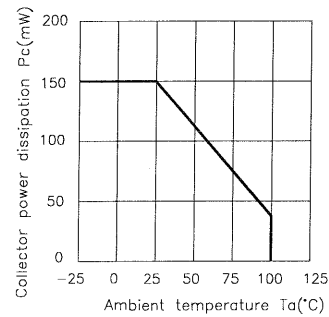
Fig. 6 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature



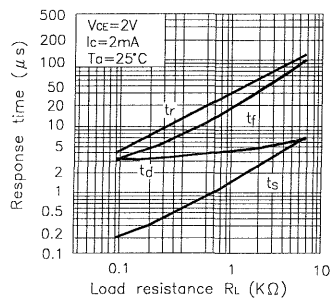
**Fig. 7 Forward Current vs. Ambient Temperature**



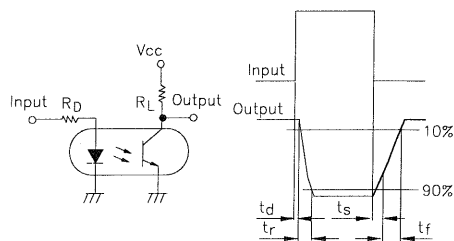
**Fig. 8 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature**



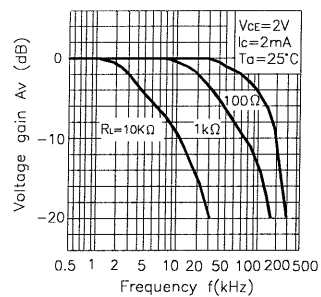
**Fig. 9 Response Time vs. Load Resistance**



**Test Circuit for Response Time**



**Fig. 10 Frequency Response**



**Test Circuit for Frequency Response**

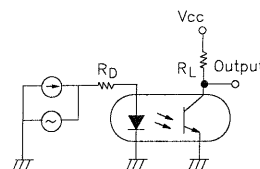
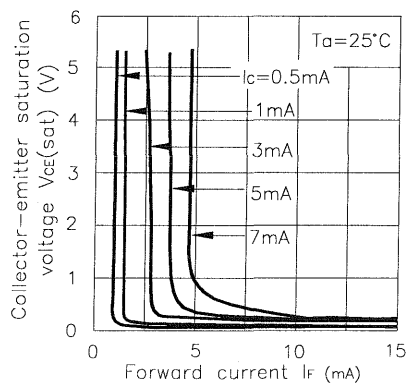


Fig. 11 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



### \*NOTES ON HANDLING

#### 1.Recommended soldering conditions (Dip soldering)

##### (1) Dip soldering

|             |   |
|-------------|---|
| Temperature | 260 °C or below (molten solder temperature)   |
| Time        | Less than 10 seconds.   |
| Cycle       | One cycle allowed to be dipped in solder including plastic mold portion.  |
| Flux        | Rosin flux containing small amount of chorine<br>(The flux with a maximum chlorine content of 0.2 Wt % is recommended.) |

##### (2) Cautions

###### Fluxes

Avoid removing the residual flux with freon-based and chlorine-based cleaning solvent.

#### 2.Cautions regarding noise

Be aware that power is suddenly into the componment any surge current may cause damage happen, even if the voltage is within the absolute maximum ratings.

Part Number: KB817

### CAUTION

Within this device there exists GaAs (Gallium Arsenide) material which is a harmful substance if ingested.

GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them.

### RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

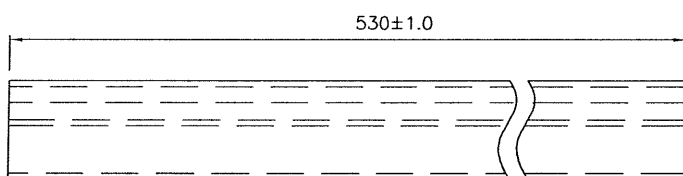
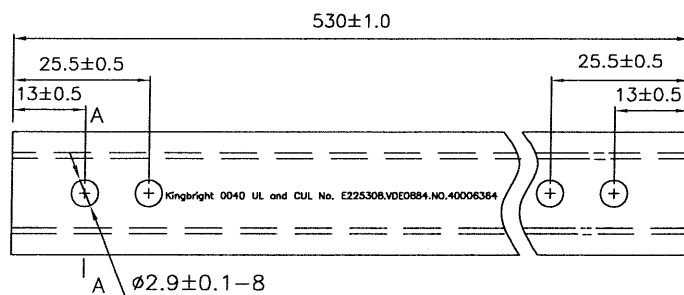
- The information in this document is subject to change without notice. Before using this document, please confirm that this is the latest version. Not all devices / types available in every country.
- We are mention about our product quality stability, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing KINGBRIGHT products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a KINGBRIGHT product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that KINGBRIGHT products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications.

Part Number: KB817

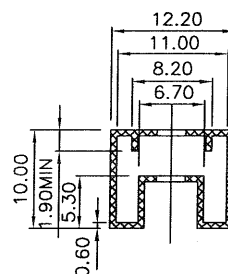
Dimension of Tube

TOLERANCE :  $\pm 0.4[\pm 0.012]$  UNLESS OTHERWISE NOTED.

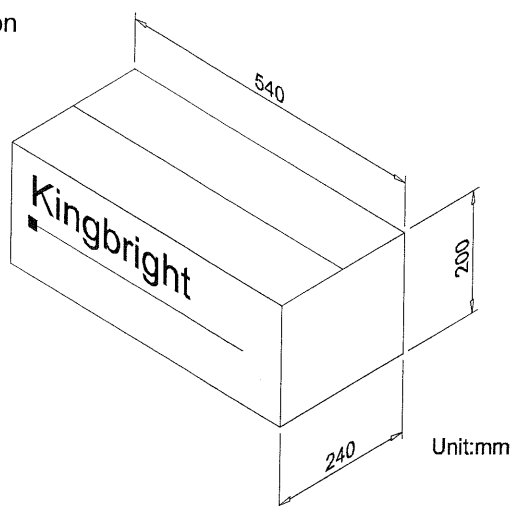
Unit:mm



A-A Side view



Dimension of Carton



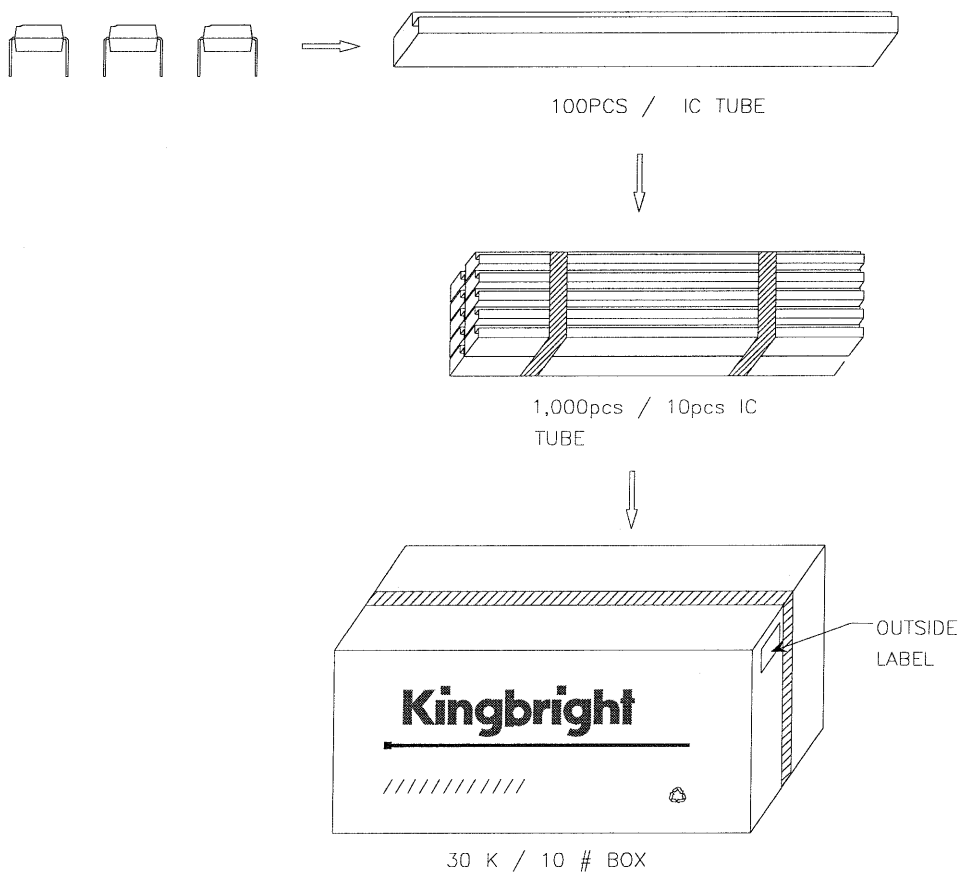
Unit:mm

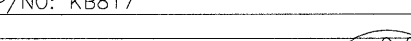
### \*ORDERING INFORMATION

| Part Number | Package   | Package Style    |
|-------------|-----------|------------------|
| KB817       | 4-pin DIP | 100pcs/each tube |

Part Number: KB817

## PACKING & LABEL SPECIFICATIONS

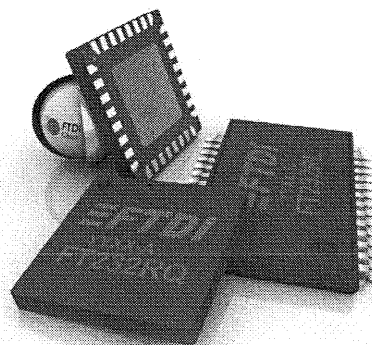


|   |  |
|---|--|
| <b>Kingbright</b>   |  |
| P/N0: KB817   |  |
| QTY: 100 pcs  | Q.C.                                     |
| S/N: XXXX   | <div>Q C<br/>XX XX XXXX<br/>PASSED</div> |
| CODE: XXX   |  |
| LOT NO:   |  |
| <br>XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |  |
| RoHS Compliant  |  |



# **Future Technology Devices International Ltd.**

## **FT232R USB UART IC**



The FT232R is a USB to serial UART interface with the following advanced features:

- Single chip USB to asynchronous serial data transfer interface.
- Entire USB protocol handled on the chip. No USB specific firmware programming required.
- Fully integrated 1024 bit EEPROM storing device descriptors and CBUS I/O configuration.
- Fully integrated USB termination resistors.
- Fully integrated clock generation with no external crystal required plus optional clock output selection enabling a glue-less interface to external MCU or FPGA.
- Data transfer rates from 300 baud to 3 Mbaud (RS422, RS485, RS232 ) at TTL levels.
- 256 byte receive buffer and 128 byte transmit buffer utilising buffer smoothing technology to allow for high data throughput.
- FTDI's royalty-free Virtual Com Port (VCP) and Direct (D2XX) drivers eliminate the requirement for USB driver development in most cases.
- Unique USB FTDIChip-ID™ feature.
- Configurable CBUS I/O pins.
- Transmit and receive LED drive signals.
- FIFO receive and transmit buffers for high data throughput.
- Synchronous and asynchronous bit bang interface options with RD# and WR# strobes.
- Device supplied pre-programmed with unique USB serial number.
- Supports bus powered, self powered and high-power bus powered USB configurations.
- Integrated +3.3V level converter for USB I/O.
- Integrated level converter on UART and CBUS for interfacing to between +1.8V and +5V logic.
- True 5V/3.3V/2.8V/1.8V CMOS drive output and TTL input.
- Configurable I/O pin output drive strength.
- Integrated power-on-reset circuit.
- Fully integrated AVCC supply filtering - no external filtering required.
- UART signal inversion option.
- +3.3V to +5.25V Single Supply Operation.
- Low operating and USB suspend current.
- Low USB bandwidth consumption.
- UHCI/OHCI/EHCI host controller compatible.
- USB 2.0 Full Speed compatible.
- -40°C to 85°C extended operating temperature range.
- Available in compact Pb-free 28 Pin SSOP and QFN-32 packages (both RoHS compliant).

Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in this manual, may be adapted or reproduced in any material or electronic form without the prior written consent of the copyright holder. This product and its documentation are supplied on an as-is basis and no warranty as to their suitability for any particular purpose is either made or implied. Future Technology Devices International Ltd will not accept any claim for damages howsoever arising as a result of use or failure of this product. Your statutory rights are not affected. This product or any variant of it is not intended for use in any medical appliance, device or system in which the failure of the product might reasonably be expected to result in personal injury. This document provides preliminary information that may be subject to change without notice. No freedom to use patents or other intellectual property rights is implied by the publication of this document. Future Technology Devices International Ltd, 373 Scotland Street, Glasgow G5 8QB United Kingdom. Scotland Registered Company Number: SC136640

## 1 Typical Applications

- USB to RS232/RS422/RS485 Converters
- Upgrading Legacy Peripherals to USB
- Cellular and Cordless Phone USB data transfer cables and interfaces
- Interfacing MCU/PLD/FPGA based designs to USB
- USB Audio and Low Bandwidth Video data transfer
- PDA to USB data transfer
- USB Smart Card Readers
- USB Instrumentation
- USB Industrial Control
- USB MP3 Player Interface
- USB FLASH Card Reader and Writers
- Set Top Box PC - USB interface
- USB Digital Camera Interface
- USB Hardware Modems
- USB Wireless Modems
- USB Bar Code Readers
- USB Software and Hardware Encryption Dongles

### 1.1 Driver Support

#### Royalty free VIRTUAL COM PORT (VCP) DRIVERS for...

- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows XP and XP 64-bit
- Windows Vista and Vista 64-bit
- Windows XP Embedded
- Windows CE 4.2, 5.0 and 6.0
- Mac OS 8/9, OS-X
- Linux 2.4 and greater

#### Royalty free D2XX Direct Drivers (USB Drivers + DLL S/W Interface)

- Windows 98, 98SE, ME, 2000, Server 2003, XP and Server 2008
- Windows XP and XP 64-bit
- Windows Vista and Vista 64-bit
- Windows XP Embedded
- Windows CE 4.2, 5.0 and 6.0
- Linux 2.4 and greater

The drivers listed above are all available to download for free from FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)). Various 3rd party drivers are also available for other operating systems - see FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) for details.

For driver installation, please refer to the application note AN232B-10.

### 1.2 Part Numbers

| Part Number  | Package     |
|--------------|-------------|
| FT232RQ-xxxx | 32 Pin QFN  |
| FT232RL-xxxx | 28 Pin SSOP |

Note: Packing codes for xxxx is:

- Reel: Taped and Reel, 2,000pcs per reel
- Tray: Tray packing, 47pcs per tube
- Tube: Tube packing, 490pcs per tray

For example: FT232RQ-Reel is 2,000pcs taped and reel packing

### 1.3 USB Compliant

The FT232R is fully compliant with the USB 2.0 specification and has been given the USB-IF Test-ID (TID) 40000133.

## 2 FT232R Block Diagram

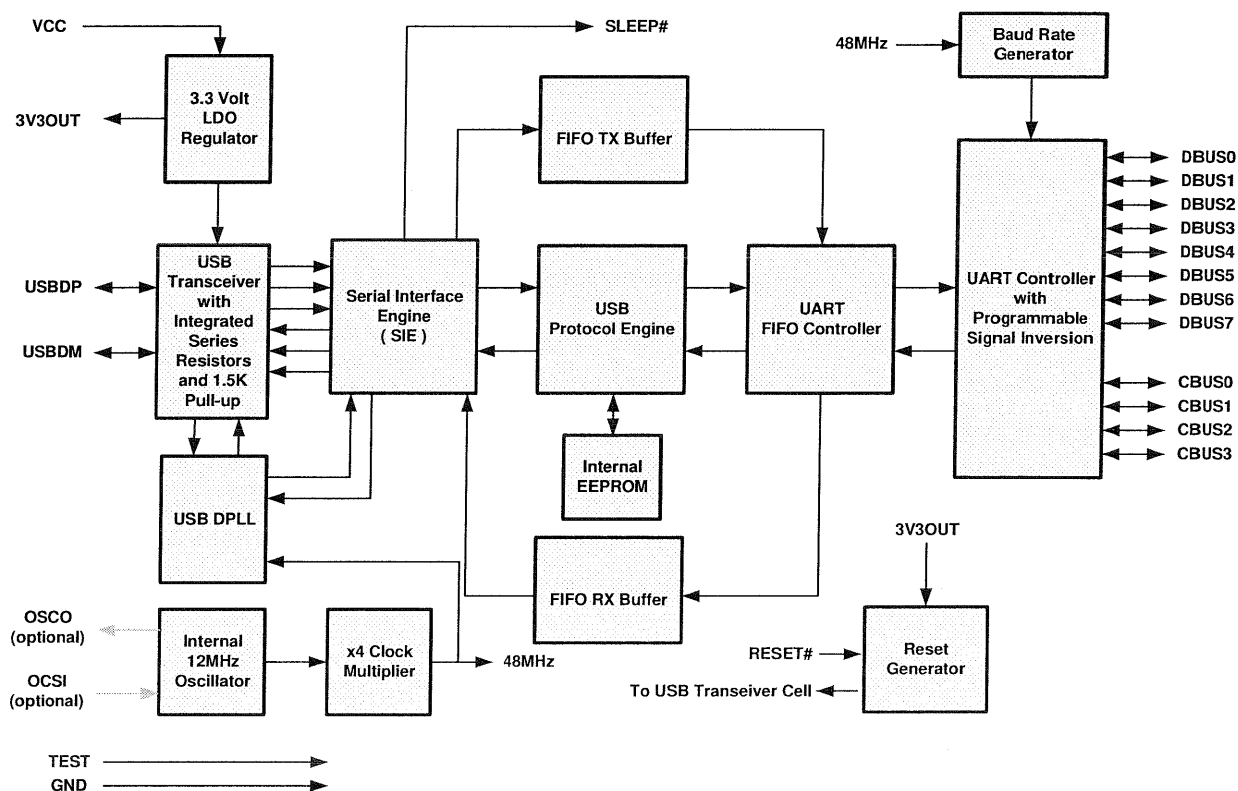


Figure 2.1 FT232R Block Diagram

For a description of each function please refer to Section 4.

---

## Table of Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Typical Applications .....</b>                           | <b>2</b>  |
| 1.1      | Driver Support.....   | 2         |
| 1.2      | Part Numbers .....  | 2         |
| 1.3      | USB Compliant .....   | 2         |
| <b>2</b> | <b>FT232R Block Diagram.....</b>                            | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Device Pin Out and Signal Description .....</b>          | <b>6</b>  |
| 3.1      | 28-LD SSOP Package .....                                    | 6         |
| 3.2      | SSOP Package Pin Out Description .....                      | 6         |
| 3.3      | QFN-32 Package.....   | 9         |
| 3.4      | QFN-32 Package Signal Description.....                      | 9         |
| 3.5      | CBUS Signal Options.....                                    | 12        |
| <b>4</b> | <b>Function Description.....</b>                            | <b>13</b> |
| 4.1      | Key Features .....  | 13        |
| 4.2      | Functional Block Descriptions.....                          | 14        |
| <b>5</b> | <b>Devices Characteristics and Ratings .....</b>            | <b>16</b> |
| 5.1      | Absolute Maximum Ratings .....                              | 16        |
| 5.2      | DC Characteristics .....                                    | 17        |
| 5.3      | EEPROM Reliability Characteristics .....                    | 20        |
| 5.4      | Internal Clock Characteristics .....                        | 20        |
| <b>6</b> | <b>USB Power Configurations .....</b>                       | <b>22</b> |
| 6.1      | USB Bus Powered Configuration.....                          | 22        |
| 6.2      | Self Powered Configuration .....                            | 23        |
| 6.3      | USB Bus Powered with Power Switching Configuration .....    | 24        |
| 6.4      | USB Bus Powered with Selectable External Logic Supply ..... | 25        |
| <b>7</b> | <b>Application Examples.....</b>                            | <b>26</b> |
| 7.1      | USB to RS232 Converter .....                                | 26        |
| 7.2      | USB to RS485 Coverter .....                                 | 27        |
| 7.3      | USB to RS422 Converter .....                                | 28        |
| 7.4      | USB to MCU UART Interface.....                              | 29        |
| 7.5      | LED Interface .....   | 30        |
| <b>8</b> | <b>Internal EEPROM Configuration .....</b>                  | <b>31</b> |
| <b>9</b> | <b>Package Parameters .....</b>                             | <b>33</b> |
| 9.1      | SSOP-28 Package Dimensions .....                            | 33        |
| 9.2      | QFN-32 Package Dimensions .....                             | 34        |
| 9.3      | QFN-32 Package Typical Pad Layout.....                      | 35        |



---

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 9.4 | QFN-32 Package Typical Solder Paste Diagram..... | 35 |
| 9.5 | Solder Reflow Profile.....                       | 36 |
| 10  | Contact Information.....                         | 37 |
|     | Appendix A - List of Figures and Tables.....     | 38 |
|     | Appendix B - Revision History .....              | 40 |

### 3 Device Pin Out and Signal Description

#### 3.1 28-LD SSOP Package

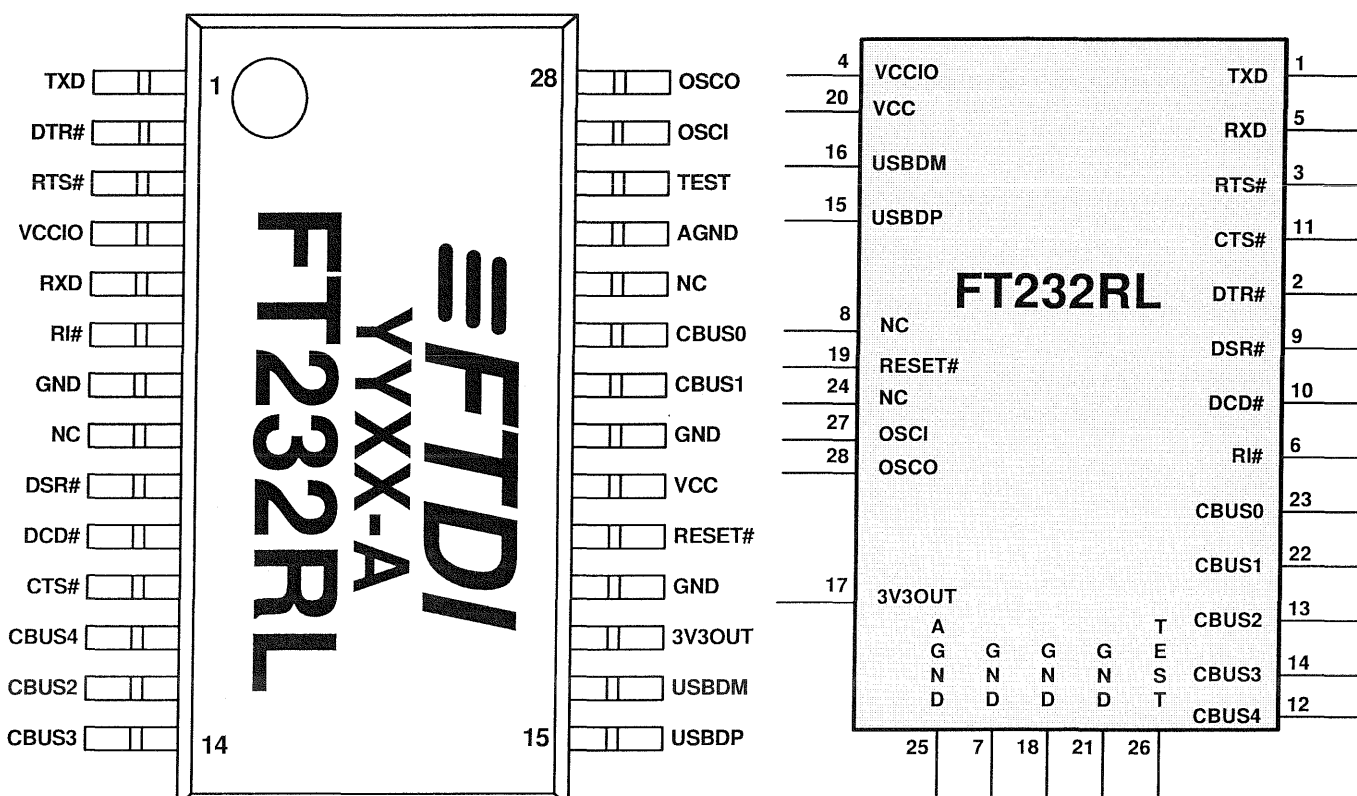


Figure 3.1 SSOP Package Pin Out and Schematic Symbol

#### 3.2 SSOP Package Pin Out Description

Note: The convention used throughout this document for active low signals is the signal name followed by a #

| Pin No. | Name   | Type | Description  |
|---------|--------|------|--|
| 15      | USBBDP | I/O  | USB Data Signal Plus, incorporating internal series resistor and 1.5kΩ pull up resistor to 3.3V. |
| 16      | USBDM  | I/O  | USB Data Signal Minus, incorporating internal series resistor.                                   |

Table 3.1 USB Interface Group

| Pin No. | Name  | Type | Description  |
|---------|-------|------|--|
| 4       | VCCIO | PWR  | +1.8V to +5.25V supply to the UART Interface and CBUS group pins (1...3, 5, 6, 9...14, 22, 23). In USB bus powered designs connect this pin to 3V3OUT pin to drive out at +3.3V levels, or connect to VCC to drive out at 5V CMOS level. This pin can also be supplied with an external +1.8V to +2.8V supply in order to drive outputs at lower levels. It should be noted that in this case this supply should originate from the same source as the supply to VCC. This means that in bus powered designs a regulator which is supplied by the +5V on the USB bus should be used. |

| Pin No.   | Name   | Type   | Description   |
|-----------|--------|--------|---|
| 7, 18, 21 | GND    | PWR    | Device ground supply pins   |
| 17        | 3V3OUT | Output | +3.3V output from integrated LDO regulator. This pin should be decoupled to ground using a 100nF capacitor. The main use of this pin is to provide the internal +3.3V supply to the USB transceiver cell and the internal 1.5kΩ pull up resistor on USB DP. Up to 50mA can be drawn from this pin to power external logic if required. This pin can also be used to supply the VCCIO pin. |
| 20        | VCC    | PWR    | +3.3V to +5.25V supply to the device core. (See Note 1)   |
| 25        | AGND   | PWR    | Device analogue ground supply for internal clock multiplier   |

**Table 3.2 Power and Ground Group**

| Pin No. | Name   | Type   | Description   |
|---------|--------|--------|---|
| 8, 24   | NC     | NC     | No internal connection  |
| 19      | RESET# | Input  | Active low reset pin. This can be used by an external device to reset the FT232R. If not required can be left unconnected, or pulled up to VCC. |
| 26      | TEST   | Input  | Puts the device into IC test mode. Must be tied to GND for normal operation, otherwise the device will appear to fail.                          |
| 27      | OSCI   | Input  | Input 12MHz Oscillator Cell. Optional – Can be left unconnected for normal operation. (see Note 2)  |
| 28      | OSCO   | Output | Output from 12MHZ Oscillator Cell. Optional – Can be left unconnected for normal operation if internal Oscillator is used. (see Note 2)         |

**Table 3.3 Miscellaneous Signal Group**

| Pin No. | Name  | Type   | Description   |
|---------|-------|--------|---|
| 1       | TXD   | Output | Transmit Asynchronous Data Output.  |
| 2       | DTR#  | Output | Data Terminal Ready Control Output / Handshake Signal.  |
| 3       | RTS#  | Output | Request to Send Control Output / Handshake Signal.  |
| 5       | RXD   | Input  | Receiving Asynchronous Data Input.  |
| 6       | RI#   | Input  | Ring Indicator Control Input. When remote wake up is enabled in the internal EEPROM taking RI# low (20ms active low pulse) can be used to resume the PC USB host controller from suspend. |
| 9       | DSR#  | Input  | Data Set Ready Control Input / Handshake Signal.  |
| 10      | DCD#  | Input  | Data Carrier Detect Control Input.  |
| 11      | CTS#  | Input  | Clear To Send Control Input / Handshake Signal.   |
| 12      | CBUS4 | I/O    | Configurable CBUS output only Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is SLEEP#. See CBUS Signal Options, Table 3.9.         |

| Pin No. | Name  | Type | Description   |
|---------|-------|------|---|
| 13      | CBUS2 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is TXDEN#. See CBUS Signal Options, Table 3.9. |
| 14      | CBUS3 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is PWREN#. See CBUS Signal Options, Table 3.9. |
| 22      | CBUS1 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is RXLED#. See CBUS Signal Options, Table 3.9. |
| 23      | CBUS0 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is TXLED#. See CBUS Signal Options, Table 3.9. |

**Table 3.4 UART Interface and CUSB Group (see note 3)**

**Notes:**

1. The minimum operating voltage VCC must be +4.0V when using the internal clock generator.
2. Contact FTDI Technical Support for details on how to use an external crystal, ceramic resonator, or oscillator with the FT232R.
3. When used in Input Mode, the input pins are pulled to VCCIO via internal 200k $\Omega$  resistors. These pins can be programmed to gently pull low during USB suspend (PWREN# = "1") by setting an option in the internal EEPROM.



### 3.3 QFN-32 Package

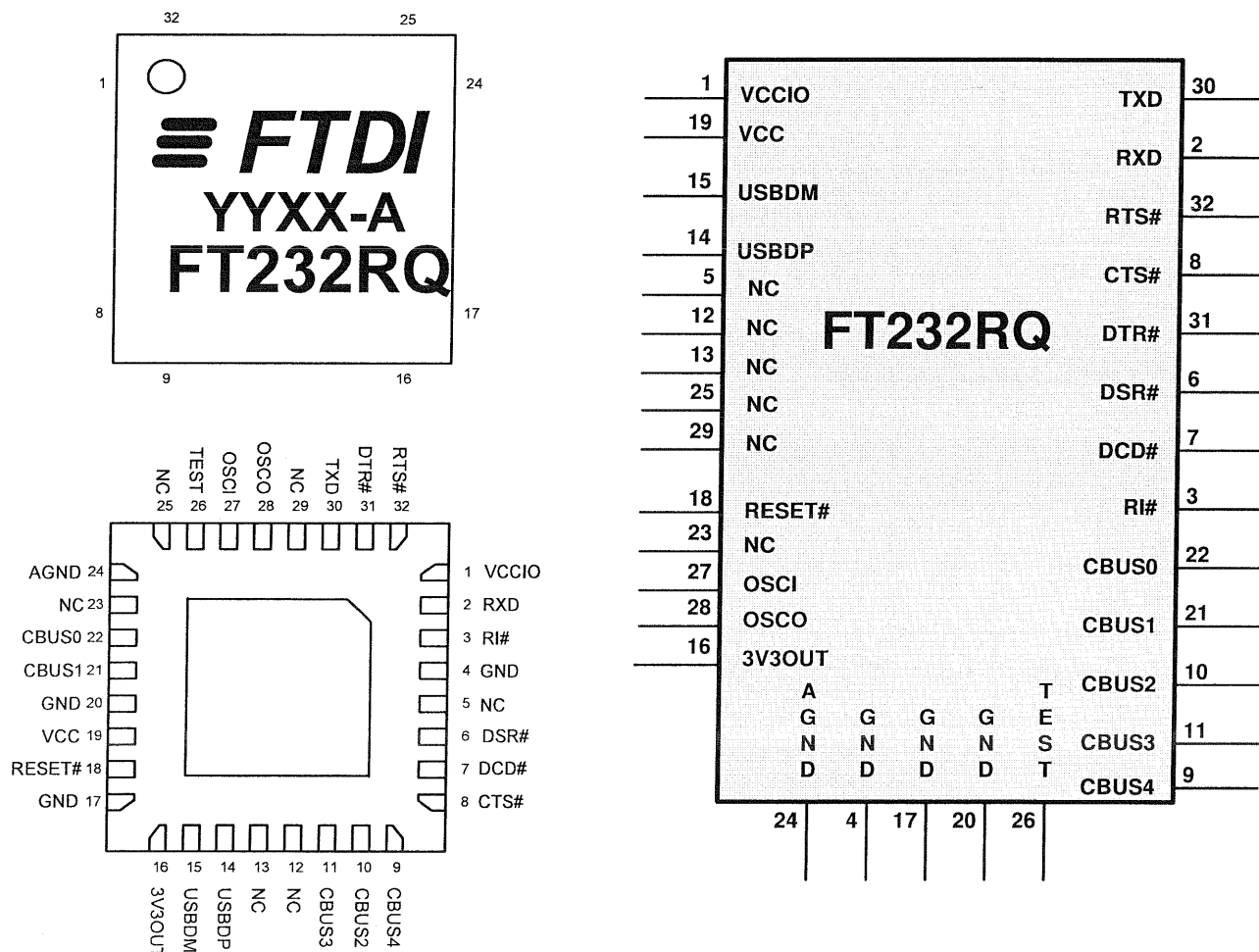


Figure 3.2 QFN-32 Package Pin Out and schematic symbol

### 3.4 QFN-32 Package Signal Description

| Pin No. | Name  | Type | Description   |
|---------|-------|------|---|
| 14      | USBDP | I/O  | USB Data Signal Plus, incorporating internal series resistor and 1.5kΩ pull up resistor to +3.3V. |
| 15      | USBDM | I/O  | USB Data Signal Minus, incorporating internal series resistor.                                    |

Table 3.5 USB Interface Group

| Pin No. | Name  | Type | Description  |
|---------|-------|------|--|
| 1       | VCCIO | PWR  | +1.8V to +5.25V supply for the UART Interface and CBUS group pins (2, 3, 6,7,8,9,10 11, 21, 22, 30,31,32). In USB bus powered designs connect this pin to 3V3OUT to drive out at +3.3V levels, or connect to VCC to drive out at +5V CMOS level. This pin can also be supplied with an external +1.8V to +2.8V supply in order to drive out at lower levels. It should be noted that in this case this supply should originate from the same source as the supply to VCC. This means that in bus powered designs a regulator which is supplied by the +5V on the USB bus should be used. |

| Pin No.   | Name   | Type   | Description  |
|-----------|--------|--------|--|
| 4, 17, 20 | GND    | PWR    | Device ground supply pins.   |
| 16        | 3V3OUT | Output | +3.3V output from integrated LDO regulator. This pin should be decoupled to ground using a 100nF capacitor. The purpose of this output is to provide the internal +3.3V supply to the USB transceiver cell and the internal 1.5k $\Omega$ pull up resistor on USBDP. Up to 50mA can be drawn from this pin to power external logic if required. This pin can also be used to supply the VCCIO pin. |
| 19        | VCC    | PWR    | +3.3V to +5.25V supply to the device core. (see Note 1).   |
| 24        | AGND   | PWR    | Device analogue ground supply for internal clock multiplier.   |

**Table 3.6 Power and Ground Group**

| Pin No.               | Name   | Type   | Description  |
|-----------------------|--------|--------|--|
| 5, 12, 13, 23, 25, 29 | NC     | NC     | No internal connection. Do not connect.  |
| 18                    | RESET# | Input  | Active low reset. Can be used by an external device to reset the FT232R. If not required can be left unconnected, or pulled up to VCC.   |
| 26                    | TEST   | Input  | Puts the device into IC test mode. Must be tied to GND for normal operation, otherwise the device will appear to fail.                   |
| 27                    | OSCI   | Input  | Input 12MHz Oscillator Cell. Optional – Can be left unconnected for normal operation. (see Note 2).                                      |
| 28                    | OSCO   | Output | Output from 12MHZ Oscillator Cell. Optional – Can be left unconnected for normal operation if internal Oscillator is used. (See Note 2). |

**Table 3.7 Miscellaneous Signal Group**

| Pin No. | Name | Type   | Description   |
|---------|------|--------|---|
| 30      | TXD  | Output | Transmit Asynchronous Data Output.  |
| 31      | DTR# | Output | Data Terminal Ready Control Output / Handshake Signal.  |
| 32      | RTS# | Output | Request to Send Control Output / Handshake Signal.  |
| 2       | RXD  | Input  | Receiving Asynchronous Data Input.  |
| 3       | RI#  | Input  | Ring Indicator Control Input. When remote wake up is enabled in the internal EEPROM taking RI# low (20ms active low pulse) can be used to resume the PC USB host controller from suspend. |
| 6       | DSR# | Input  | Data Set Ready Control Input / Handshake Signal.  |
| 7       | DCD# | Input  | Data Carrier Detect Control Input.  |
| 8       | CTS# | Input  | Clear To Send Control Input / Handshake Signal.   |

| Pin No. | Name  | Type | Description   |
|---------|-------|------|---|
| 9       | CBUS4 | I/O  | Configurable CBUS output only Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is SLEEP#. See CBUS Signal Options, Table 3.9. |
| 10      | CBUS2 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is TXDEN#. See CBUS Signal Options, Table 3.9.         |
| 11      | CBUS3 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is PWREN#. See CBUS Signal Options, Table 3.9.         |
| 21      | CBUS1 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is RXLED#. See CBUS Signal Options, Table 3.9.         |
| 22      | CBUS0 | I/O  | Configurable CBUS I/O Pin. Function of this pin is configured in the device internal EEPROM. Factory default configuration is TXLED#. See CBUS Signal Options, Table 3.9.         |

**Table 3.8 UART Interface and CBUS Group (see note 3)**

**Notes:**

1. The minimum operating voltage VCC must be +4.0V when using the internal clock generator.
2. Contact FTDI Technical Support for details on how to use an external crystal, ceramic resonator, or oscillator with the FT232R.
3. When used in Input Mode, the input pins are pulled to VCCIO via internal 200kΩ resistors. These pins can be programmed to gently pull low during USB suspend ( PWREN# = "1") by setting an option in the internal EEPROM.

### 3.5 CBUS Signal Options

The following options can be configured on the CBUS I/O pins. CBUS signal options are common to both package versions of the FT232R. These options can be configured in the internal EEPROM using the software utility MPROG, which can be downloaded from the FTDI Utilities ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) . The default configuration is described in Section 8.

| CBUS Signal Option | Available On CBUS Pin             | Description  |
|--------------------|-----------------------------------|--|
| TXDEN#             | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | Enable transmit data for RS485   |
| PWREN#             | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | Output is low after the device has been configured by USB, then high during USB suspend mode. This output can be used to control power to external logic P-Channel logic level MOSFET switch. Enable the interface pull-down option when using the PWREN# in this way.*  |
| TXLED#             | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | Transmit data LED drive – pulses low when transmitting data via USB. See Section 7.5 for more details.   |
| RXLED#             | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | Receive data LED drive – pulses low when receiving data via USB. See Section 7.5 for more details.   |
| TX&RXLED#          | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | LED drive – pulses low when transmitting or receiving data via USB. See Section 7.5 for more details.  |
| SLEEP#             | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | Goes low during USB suspend mode. Typically used to power down an external TTL to RS232 level converter IC in USB to RS232 converter designs.  |
| CLK48              | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | 48MHz Clock output.**  |
| CLK24              | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | 24 MHz Clock output.**   |
| CLK12              | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | 12 MHz Clock output.**   |
| CLK6               | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3, CBUS4 | 6 MHz Clock output.**  |
| CBitBangI/O        | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3        | CBUS bit bang mode option. Allows up to 4 of the CBUS pins to be used as general purpose I/O. Configured individually for CBUS0, CBUS1, CBUS2 and CBUS3 in the internal EEPROM. A separate application note, AN232R-01, available from FTDI website ( <a href="http://www.ftdichip.com">www.ftdichip.com</a> ) describes in more detail how to use CBUS bit bang mode. |
| BitBangWRn         | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3        | Synchronous and asynchronous bit bang mode WR# strobe output.  |
| BitBangRDn         | CBUS0, CBUS1, CBUS2, CBUS3        | Synchronous and asynchronous bit bang mode RD# strobe output.  |

**Table 3.9 CBUS Configuration Control**

\* PWREN# should be used with a 10kΩ resistor pull up.

\*\*When in USB suspend mode the outputs clocks are also suspended.

## 4 Function Description

The FT232R is a USB to serial UART interface device which simplifies USB to serial designs and reduces external component count by fully integrating an external EEPROM, USB termination resistors and an integrated clock circuit which requires no external crystal, into the device. It has been designed to operate efficiently with a USB host controller by using as little as possible of the total USB bandwidth available.

### 4.1 Key Features

**Functional Integration.** Fully integrated EEPROM, USB termination resistors, clock generation, AVCC filtering, POR and LDO regulator.

**Configurable CBUS I/O Pin Options.** The fully integrated EEPROM allows configuration of the Control Bus (CBUS) functionality, signal inversion and drive strength selection. There are 5 configurable CBUS I/O pins. These configurable options are

1. **TXDEN#** - transmit enable for RS485 designs.
2. **PWREN#** - Power control for high power, bus powered designs.
3. **TXLED#** - for pulsing an LED upon transmission of data.
4. **RXLED#** - for pulsing an LED upon receiving data.
5. **TX&RXLED#** - which will pulse an LED upon transmission OR reception of data.
6. **SLEEP#** - indicates that the device going into USB suspend mode.
7. **CLK48 / CLK24 / CLK12 / CLK6** - 48MHz, 24MHz, 12MHz, and 6MHz clock output signal options.

The CBUS pins can also be individually configured as GPIO pins, similar to asynchronous bit bang mode. It is possible to use this mode while the UART interface is being used, thus providing up to 4 general purpose I/O pins which are available during normal operation. An application note, AN232R-01, available from FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) describes this feature.

The CBUS lines can be configured with any one of these output options by setting bits in the internal EEPROM. The device is supplied with the most commonly used pin definitions pre-programmed - see Section 8 for details.

**Asynchronous Bit Bang Mode with RD# and WR# Strokes.** The FT232R supports FTDI's previous chip generation bit-bang mode. In bit-bang mode, the eight UART lines can be switched from the regular interface mode to an 8-bit general purpose I/O port. Data packets can be sent to the device and they will be sequentially sent to the interface at a rate controlled by an internal timer (equivalent to the baud rate pre-scaler). With the FT232R device this mode has been enhanced by outputting the internal RD# and WR# strobes signals which can be used to allow external logic to be clocked by accesses to the bit-bang I/O bus. This option will be described more fully in a separate application note available from FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)).

**Synchronous Bit Bang Mode.** The FT232R supports synchronous bit bang mode. This mode differs from asynchronous bit bang mode in that the interface pins are only read when the device is written to. This makes it easier for the controlling program to measure the response to an output stimulus as the data returned is synchronous to the output data. An application note, AN232R-01, available from FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) describes this feature.

**FTDICHip-ID™.** The FT232R also includes the new FTDICHip-ID™ security dongle feature. This FTDICHip-ID™ feature allows a unique number to be burnt into each device during manufacture. This number cannot be reprogrammed. This number is only readable over USB and forms a basis of a security dongle which can be used to protect any customer application software being copied. This allows the possibility of using the FT232R in a dongle for software licensing. Further to this, a renewable license scheme can be implemented based on the FTDICHip-ID™ number when encrypted with other information. This encrypted number can be stored in the user area of the FT232R internal EEPROM, and can be decrypted, then compared with the protected FTDICHip-ID™ to verify that a license is valid. Web based applications can be used to maintain product licensing this way. An application note, AN232R-02, available from FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) describes this feature.

The FT232R is capable of operating at a voltage supply between +3.3V and +5V with a nominal operational mode current of 15mA and a nominal USB suspend mode current of 70µA. This allows greater margin for peripheral designs to meet the USB suspend mode current limit of 2.5mA. An integrated level converter within the UART interface allows the FT232R to interface to UART logic running at +1.8V, 2.5V, +3.3V or +5V.

## 4.2 Functional Block Descriptions

The following paragraphs detail each function within the FT232R. Please refer to the block diagram shown in Figure 2.1.

**Internal EEPROM.** The internal EEPROM in the FT232R is used to store USB Vendor ID (VID), Product ID (PID), device serial number, product description string and various other USB configuration descriptors. The internal EEPROM is also used to configure the CBUS pin functions. The FT232R is supplied with the internal EEPROM pre-programmed as described in Section 8. A user area of the internal EEPROM is available to system designers to allow storing additional data. The internal EEPROM descriptors can be programmed in circuit, over USB without any additional voltage requirement. It can be programmed using the FTDI utility software called MPROG, which can be downloaded from FTDI Utilities on the FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)).

**+3.3V LDO Regulator.** The +3.3V LDO regulator generates the +3.3V reference voltage for driving the USB transceiver cell output buffers. It requires an external decoupling capacitor to be attached to the 3V3OUT regulator output pin. It also provides +3.3V power to the 1.5k $\Omega$  internal pull up resistor on USBDP. The main function of the LDO is to power the USB Transceiver and the Reset Generator Cells rather than to power external logic. However, it can be used to supply external circuitry requiring a +3.3V nominal supply with a maximum current of 50mA.

**USB Transceiver.** The USB Transceiver Cell provides the USB 1.1 / USB 2.0 full-speed physical interface to the USB cable. The output drivers provide +3.3V level slew rate control signalling, whilst a differential input receiver and two single ended input receivers provide USB data in, Single-Ended-0 (SE0) and USB reset detection conditions respectfully. This function also incorporates the internal USB series termination resistors on the USB data lines and a 1.5k $\Omega$  pull up resistor on USBDP.

**USB DPLL.** The USB DPLL cell locks on to the incoming NRZI USB data and generates recovered clock and data signals for the Serial Interface Engine (SIE) block.

**Internal 12MHz Oscillator** - The Internal 12MHz Oscillator cell generates a 12MHz reference clock. This provides an input to the x4 Clock Multiplier function. The 12MHz Oscillator is also used as the reference clock for the SIE, USB Protocol Engine and UART FIFO controller blocks.

**Clock Multiplier / Divider.** The Clock Multiplier / Divider takes the 12MHz input from the Internal Oscillator function and generates the 48MHz, 24MHz, 12MHz and 6MHz reference clock signals. The 48MHz clock reference is used by the USB DPLL and the Baud Rate Generator blocks.

**Serial Interface Engine (SIE).** The Serial Interface Engine (SIE) block performs the parallel to serial and serial to parallel conversion of the USB data. In accordance with the USB 2.0 specification, it performs bit stuffing/un-stuffing and CRC5/CRC16 generation. It also checks the CRC on the USB data stream.

**USB Protocol Engine.** The USB Protocol Engine manages the data stream from the device USB control endpoint. It handles the low level USB protocol requests generated by the USB host controller and the commands for controlling the functional parameters of the UART in accordance with the USB 2.0 specification chapter 9.

**FIFO TX Buffer (128 bytes).** Data from the USB data OUT endpoint is stored in the FIFO TX buffer and removed from the buffer to the UART transmit register under control of the UART FIFO controller.

**FIFO RX Buffer (256 bytes).** Data from the UART receive register is stored in the FIFO RX buffer prior to being removed by the SIE on a USB data request from the device data IN endpoint.

**UART FIFO Controller.** The UART FIFO controller handles the transfer of data between the FIFO RX and TX buffers and the UART transmit and receive registers.

**UART Controller with Programmable Signal Inversion and High Drive.** Together with the UART FIFO Controller the UART Controller handles the transfer of data between the FIFO RX and FIFO TX buffers and the UART transmit and receive registers. It performs asynchronous 7 or 8 bit parallel to serial and serial to parallel conversion of the data on the RS232 (or RS422 or RS485) interface.

Control signals supported by UART mode include RTS, CTS, DSR, DTR, DCD and RI. The UART Controller also provides a transmitter enable control signal pin option (TXDEN#) to assist with interfacing to RS485 transceivers. RTS/CTS, DSR/DTR and XON / XOFF handshaking options are also supported. Handshaking is handled in hardware to ensure fast response times. The UART interface also supports the RS232 BREAK setting and detection conditions.

Additionally, the UART signals can each be individually inverted and have a configurable high drive strength capability. Both these features are configurable in the EEPROM.

---

**Baud Rate Generator** - The Baud Rate Generator provides a 16x clock input to the UART Controller from the 48MHz reference clock. It consists of a 14 bit pre-scaler and 3 register bits which provide fine tuning of the baud rate (used to divide by a number plus a fraction or "sub-integer"). This determines the baud rate of the UART, which is programmable from 183 baud to 3 Mbaud.

The FT232R supports all standard baud rates and non-standard baud rates from 183 Baud up to 3 Mbaud. Achievable non-standard baud rates are calculated as follows -

$$\text{Baud Rate} = 3000000 / (n + x)$$

where 'n' can be any integer between 2 and 16,384 ( $= 2^{14}$ ) and 'x' can be a sub-integer of the value 0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75, or 0.875. When  $n = 1$ ,  $x = 0$ , i.e. baud rate divisors with values between 1 and 2 are not possible.

This gives achievable baud rates in the range 183.1 baud to 3,000,000 baud. When a non-standard baud rate is required simply pass the required baud rate value to the driver as normal, and the FTDI driver will calculate the required divisor, and set the baud rate. See FTDI application note AN232B-05 on the FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)) for more details.

**RESET Generator** - The integrated Reset Generator Cell provides a reliable power-on reset to the device internal circuitry at power up. The RESET# input pin allows an external device to reset the FT232R.

RESET# can be tied to VCC or left unconnected if not being used.

## 5 Devices Characteristics and Ratings

### 5.1 Absolute Maximum Ratings

The absolute maximum ratings for the FT232R devices are as follows. These are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Exceeding these may cause permanent damage to the device.

| Parameter  | Value   | Unit      |
|--|---|-----------|
| Storage Temperature  | -65°C to 150°C  | Degrees C |
| Floor Life (Out of Bag) At Factory Ambient<br>(30°C / 60% Relative Humidity) | 168 Hours<br>(IPC/JEDEC J-STD-033A MSL Level 3<br>Compliant)* | Hours     |
| Ambient Temperature (Power Applied)  | -40°C to 85°C   | Degrees C |
| MTTF FT232RL   | 11162037  | hours     |
| MTTF FT232RQ   | 4464815   | hours     |
| VCC Supply Voltage   | -0.5 to +6.00   | V         |
| DC Input Voltage – USBDP and USBDM   | -0.5 to +3.8  | V         |
| DC Input Voltage – High Impedance<br>Bidirectionals                          | -0.5 to + (VCC +0.5)  | V         |
| DC Input Voltage – All Other Inputs  | -0.5 to + (VCC +0.5)  | V         |
| DC Output Current – Outputs  | 24  | mA        |
| DC Output Current – Low Impedance<br>Bidirectionals                          | 24  | mA        |
| Power Dissipation (VCC = 5.25V)  | 500   | mW        |

**Table 5.1 Absolute Maximum Ratings**

\* If devices are stored out of the packaging beyond this time limit the devices should be baked before use. The devices should be ramped up to a temperature of +125°C and baked for up to 17 hours.



## 5.2 DC Characteristics

DC Characteristics (Ambient Temperature = -40°C to +85°C)

| Parameter | Description                    | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions                |
|-----------|--------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------------------------|
| VCC1      | VCC Operating Supply Voltage   | 4.0     | ---     | 5.25    | V     | Using Internal Oscillator |
| VCC1      | VCC Operating Supply Voltage   | 3.3     | ---     | 5.25    | V     | Using External Crystal    |
| VCC2      | VCCIO Operating Supply Voltage | 1.8     | ---     | 5.25    | V     |                           |
| Icc1      | Operating Supply Current       | ---     | 15      | ---     | mA    | Normal Operation          |
| Icc2      | Operating Supply Current       | 50      | 70      | 100     | μA    | USB Suspend               |

**Table 5.2 Operating Voltage and Current**

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 3.2     | 4.1     | 4.9     | V     | I source = 2mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.6     | V     | I sink = 2mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

**Table 5.3 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +5.0V, Standard Drive Level)**

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 2.2     | 2.7     | 3.2     | V     | I source = 1mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.5     | V     | I sink = 2mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

**Table 5.4 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +3.3V, Standard Drive Level)**

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 2.1     | 2.6     | 2.8     | V     | I source = 1mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.5     | V     | I sink = 2mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

Table 5.5 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +2.8V, Standard Drive Level)

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions       |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|------------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 1.32    | 1.62    | 1.8     | V     | I source = 0.2mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.06    | 0.1     | 0.18    | V     | I sink = 0.5mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **               |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **               |

Table 5.6 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +1.8V, Standard Drive Level)

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 3.2     | 4.1     | 4.9     | V     | I source = 6mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.6     | V     | I sink = 6mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

Table 5.7 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +5.0V, High Drive Level)

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 2.2     | 2.8     | 3.2     | V     | I source = 3mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.6     | V     | I sink = 8mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

Table 5.8 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +3.3V, High Drive Level)

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 2.1     | 2.6     | 2.8     | V     | I source = 3mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.3     | 0.4     | 0.6     | V     | I sink = 8mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **             |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **             |

Table 5.9 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +2.8V, High Drive Level)

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions       |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|------------------|
| Voh       | Output Voltage High        | 1.35    | 1.67    | 1.8     | V     | I source = 0.4mA |
| Vol       | Output Voltage Low         | 0.12    | 0.18    | 0.35    | V     | I sink = 3mA     |
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     | **               |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 20      | 25      | 30      | mV    | **               |

Table 5.10 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +1.8V, High Drive Level)

\*\* Only input pins have an internal 200K $\Omega$  pull-up resistor to VCCIO

| Parameter | Description                | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions |
|-----------|----------------------------|---------|---------|---------|-------|------------|
| Vin       | Input Switching Threshold  | 1.3     | 1.6     | 1.9     | V     |            |
| VHys      | Input Switching Hysteresis | 50      | 55      | 60      | mV    |            |

Table 5.11 RESET# and TEST Pin Characteristics

| Parameter | Description                    | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions  |
|-----------|--------------------------------|---------|---------|---------|-------|---|
| UVoh      | I/O Pins Static Output (High)  | 2.8     |         | 3.6     | V     | RI = 1.5k $\Omega$ to 3V3OUT (D+) RI = 15k $\Omega$ to GND (D-) |
| UVol      | I/O Pins Static Output (Low)   | 0       |         | 0.3     | V     | RI = 1.5k $\Omega$ to 3V3OUT (D+) RI = 15k $\Omega$ to GND (D-) |
| UVse      | Single Ended Rx Threshold      | 0.8     |         | 2.0     | V     |   |
| UCom      | Differential Common Mode       | 0.8     |         | 2.5     | V     |   |
| UVDif     | Differential Input Sensitivity | 0.2     |         |         | V     |   |
| UDrvZ     | Driver Output Impedance        | 26      | 29      | 44      | Ohms  | See Note 1  |

**Table 5.12 USB I/O Pin (USBDP, USBDM) Characteristics**

### 5.3 EEPROM Reliability Characteristics

The internal 1024 Bit EEPROM has the following reliability characteristics:

| Parameter          | Value   | Unit   |
|--------------------|---------|--------|
| Data Retention     | 15      | Years  |
| Read / Write Cycle | 100,000 | Cycles |

**Table 5.13 EEPROM Characteristics**

### 5.4 Internal Clock Characteristics

The internal Clock Oscillator has the following characteristics:

| Parameter                           | Value   |         |         | Unit |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|------|
|                                     | Minimum | Typical | Maximum |      |
| Frequency of Operation (see Note 1) | 11.98   | 12.00   | 12.02   | MHz  |
| Clock Period                        | 83.19   | 83.33   | 83.47   | ns   |
| Duty Cycle                          | 45      | 50      | 55      | %    |

**Table 5.14 Internal Clock Characteristics**

Note 1: Equivalent to +/-1667ppm

| Parameter | Description               | Minimum | Typical | Maximum | Units | Conditions     |
|-----------|---------------------------|---------|---------|---------|-------|----------------|
| Voh       | Output Voltage High       | 2.1     | 2.8     | 3.2     | V     | I source = 3mA |
| Vol       | Output Voltage Low        | 0.3     | 0.4     | 0.6     | V     | I sink = 8mA   |
| Vin       | Input Switching Threshold | 1.0     | 1.2     | 1.5     | V     |                |

**Table 5.15 OSCI, OSCO Pin Characteristics – see Note 1**

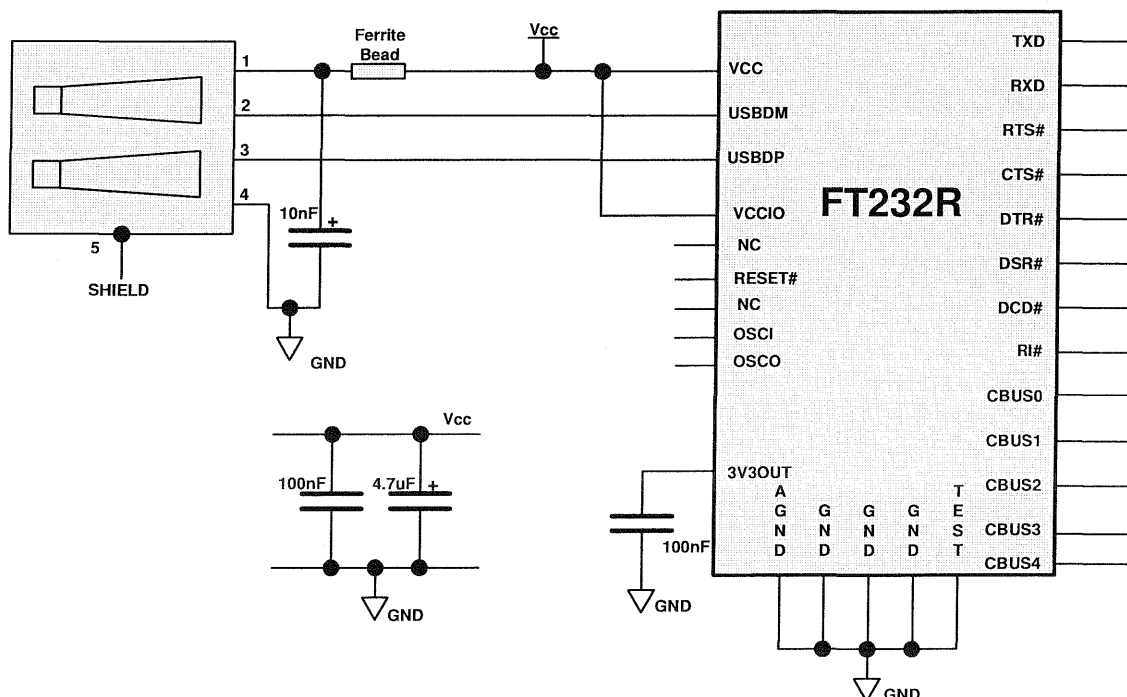
Note1: When supplied, the FT232R is configured to use its internal clock oscillator. These characteristics only apply when an external oscillator or crystal is used.

## 6 USB Power Configurations

The following sections illustrate possible USB power configurations for the FT232R. The illustrations have omitted pin numbers for ease of understanding since the pins differ between the FT232RL and FT232RQ package options.

All USB power configurations illustrated apply to both package options for the FT232R device. Please refer to Section 3 for the package option pin-out and signal descriptions.

### 6.1 USB Bus Powered Configuration



**Figure 6.1 Bus Powered Configuration**

Figure 6.1 Illustrates the FT232R in a typical USB bus powered design configuration. A USB bus powered device gets its power from the USB bus. Basic rules for USB bus power devices are as follows –

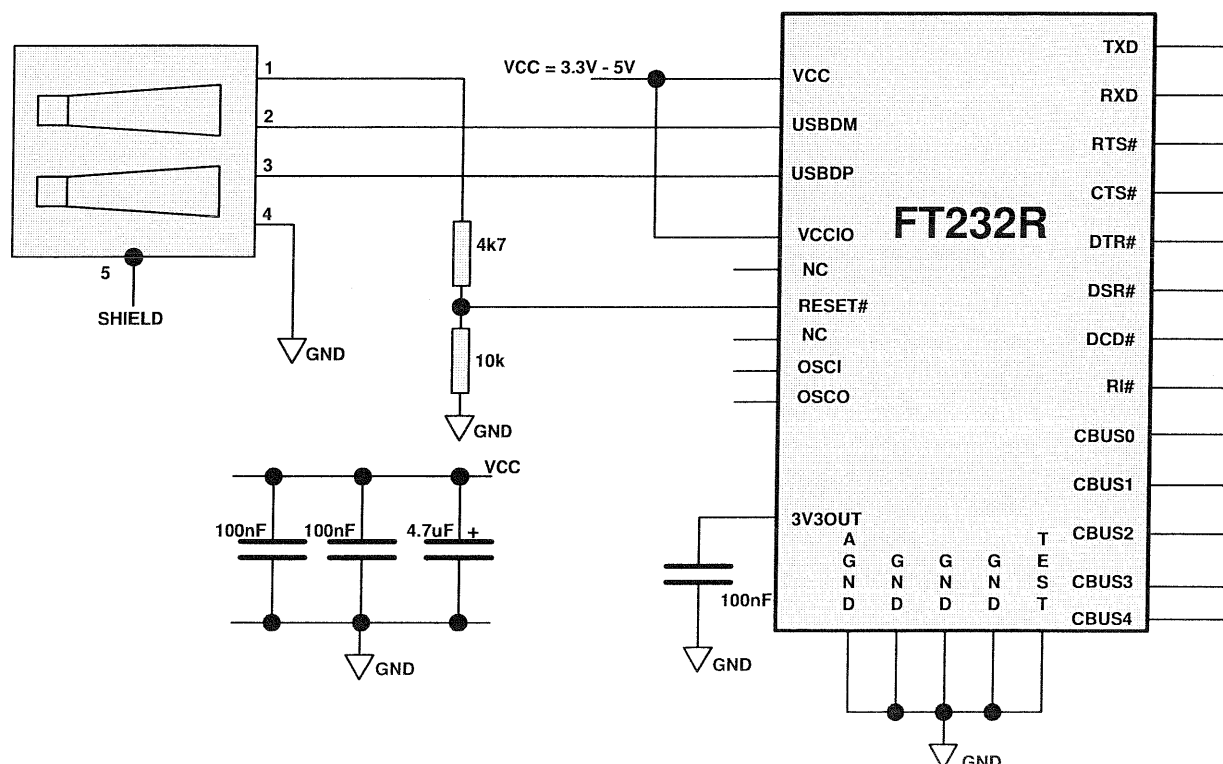
- i) On plug-in to USB, the device should draw no more current than 100mA.
- ii) In USB Suspend mode the device should draw no more than 2.5mA.
- iii) A bus powered high power USB device (one that draws more than 100mA) should use one of the CBUS pins configured as PWREN# and use it to keep the current below 100mA on plug-in and 2.5mA on USB suspend.
- iv) A device that consumes more than 100mA cannot be plugged into a USB bus powered hub.
- v) No device can draw more than 500mA from the USB bus.

The power descriptors in the internal EEPROM of the FT232R should be programmed to match the current drawn by the device.

A ferrite bead is connected in series with the USB power supply to reduce EMI noise from the FT232R and associated circuitry being radiated down the USB cable to the USB host. The value of the Ferrite Bead depends on the total current drawn by the application. A suitable range of Ferrite Beads is available from Steward ([www.steward.com](http://www.steward.com)), for example Steward Part # MI0805K400R-10.

Note: If using PWREN# (available using the CBUS) the pin should be pulled to VCCIO using a 10kΩ resistor.

## 6.2 Self Powered Configuration



**Figure 6.2 Self Powered Configuration**

Figure 6.2 illustrates the FT232R in a typical USB self powered configuration. A USB self powered device gets its power from its own power supply, VCC, and does not draw current from the USB bus. The basic rules for USB self powered devices are as follows –

- A self powered device should not force current down the USB bus when the USB host or hub controller is powered down.
- A self powered device can use as much current as it needs during normal operation and USB suspend as it has its own power supply.
- A self powered device can be used with any USB host, a bus powered USB hub or a self powered USB hub.

The power descriptor in the internal EEPROM of the FT232R should be programmed to a value of zero (self powered).

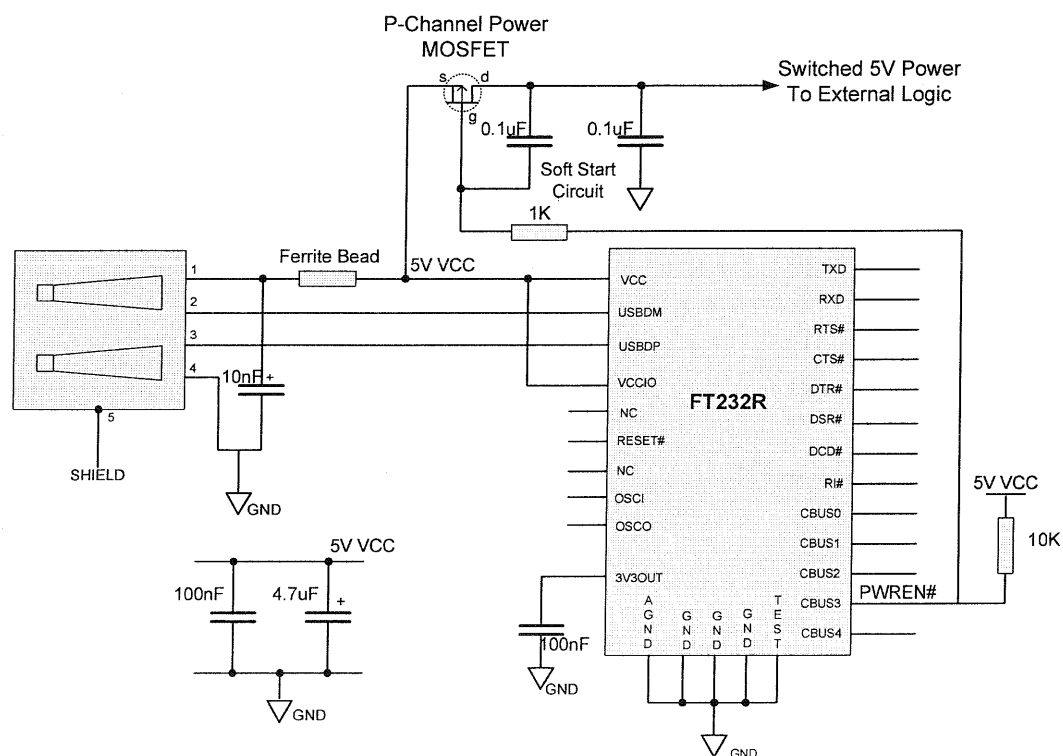
In order to comply with the first requirement above, the USB bus power (pin 1) is used to control the RESET# pin of the FT232R device. When the USB host or hub is powered up an internal 1.5kΩ resistor on USBDP is pulled up to +3.3V (generated using the 4K7 and 10k resistor network), thus identifying the device as a full speed device to the USB host or hub. When the USB host or hub is powered off, RESET# will be low and the FT232R is held in reset. Since RESET# is low, the internal 1.5kΩ resistor is not pulled up to any power supply (hub or host is powered down), so no current flows down USBDP via the 1.5kΩ pull-up resistor. Failure to do this may cause some USB host or hub controllers to power up erratically.

Figure 6.2 illustrates a self powered design which has a +3.3V to +5V supply. Any design which interfaces to +3.3 V or +1.8V logic would differ from Figure 6.2 by having a +3.3V or +1.8V supply to VCCIO. In this case the VCC operates over the range +3.3V to +5V supply to VCC

Note:

- When the FT232R is in reset, the UART interface I/O pins are tri-stated. Input pins have internal 200kΩ pull-up resistors to VCCIO, so they will gently pull high unless driven by some external logic.
- When using internal FT232R oscillator the VCC supply voltage range must be a minimum of +4.0V.

### 6.3 USB Bus Powered with Power Switching Configuration



**Figure 6.3 Bus Powered with Power Switching Configuration**

A requirement of USB bus powered applications, is when in USB suspend mode, the application draws a total current of less than 2.5mA. This requirement includes external logic. Some external logic has the ability to power itself down into a low current state by monitoring the PWREN# signal. For external logic that cannot power itself down in this way, the FT232R provides a simple but effective method of turning off power during the USB suspend mode.

Figure 6.3 shows an example of using a discrete P-Channel MOSFET to control the power to external logic. A suitable device to do this is an International Rectifier ([www.irf.com](http://www.irf.com)) IRLML6402, or equivalent. It is recommended that a "soft start" circuit consisting of a 1kΩ series resistor and a 0.1μF capacitor is used to limit the current surge when the MOSFET turns on. Without the soft start circuit it is possible that the transient power surge, caused when the MOSFET switches on, will reset the FT232R or the USB host/hub controller. The soft start circuit example shown in Figure 6.3 powers up with a slew rate of approximately 12.5V/ms. Thus supply voltage to external logic transitions from GND to +5V in approximately 400 microseconds.

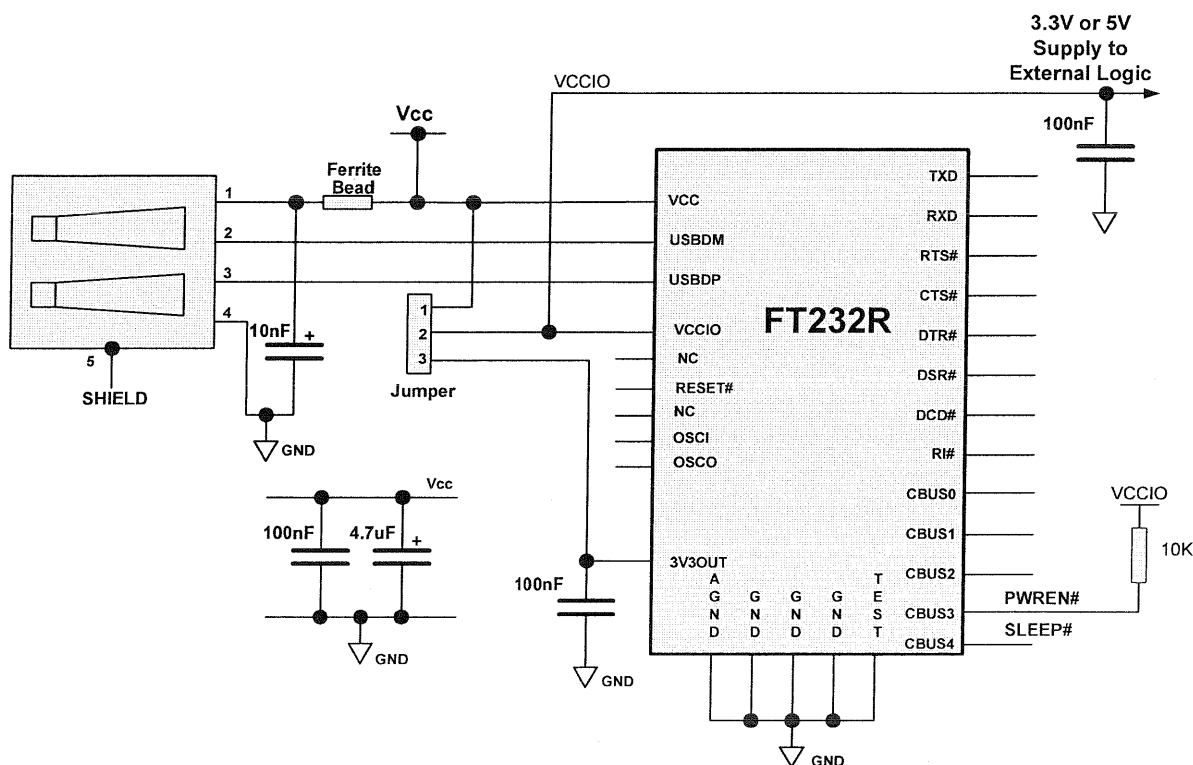
As an alternative to the MOSFET, a dedicated power switch IC with inbuilt "soft-start" can be used. A suitable power switch IC for such an application is the Micrel ([www.micrel.com](http://www.micrel.com)) MIC2025-2BM or equivalent.

With power switching controlled designs the following should be noted:

- The external logic to which the power is being switched should have its own reset circuitry to automatically reset the logic when power is re-applied when moving out of suspend mode.
- Set the Pull-down on Suspend option in the internal FT232R EEPROM.
- One of the CBUS Pins should be configured as PWREN# in the internal FT232R EEPROM, and used to switch the power supply to the external circuitry. This should be pulled high through a 10 kΩ resistor.
- For USB high-power bus powered applications (one that consumes greater than 100mA, and up to 500mA of current from the USB bus), the power consumption of the application must be set in the Max Power field in the internal FT232R EEPROM. A high-power bus powered application uses the descriptor in the internal FT232R EEPROM to inform the system of its power requirements.
- PWREN# gets its VCC from VCCIO. For designs using 3V3 logic, ensure VCCIO is not powered down using the external logic. In this case use the +3V3OUT.



## 6.4 USB Bus Powered with Selectable External Logic Supply



**Figure 6.4 USB Bus Powered with +3.3V or +5V External Logic Power Supply**

Figure 6.4 illustrates a USB bus power application with selectable external logic supply. The external logic can be selected between +3.3V and +5V using the jumper switch. This jumper is used to allow the FT232R to be interfaced with a +3.3V or +5V logic devices. The VCCIO pin is either supplied with +5V from the USB bus (jumper pins 1 and 2 connected), or from the +3.3V output from the FT232R 3V3OUT pin (jumper pins 2 and 3 connected). The supply to VCCIO is also used to supply external logic.

With bus powered applications, the following should be noted:

- To comply with the 2.5mA current supply limit during USB suspend mode, PWREN# or SLEEP# signals should be used to power down external logic in this mode. If this is not possible, use the configuration shown in Section 6.3.
- The maximum current sourced from the USB bus during normal operation should not exceed 100mA, otherwise a bus powered design with power switching (Section 6.3) should be used.

Another possible configuration could use a discrete low dropout (LDO) regulator which is supplied by the 5V on the USB bus to supply between +1.8V and +2.8V to the VCCIO pin and to the external logic. In this case VCC would be supplied with the +5V from the USB bus and the VCCIO would be supplied from the output of the LDO regulator. This results in the FT232R I/O pins driving out at between +1.8V and +2.8V logic levels.

For a USB bus powered application, it is important to consider the following when selecting the regulator:

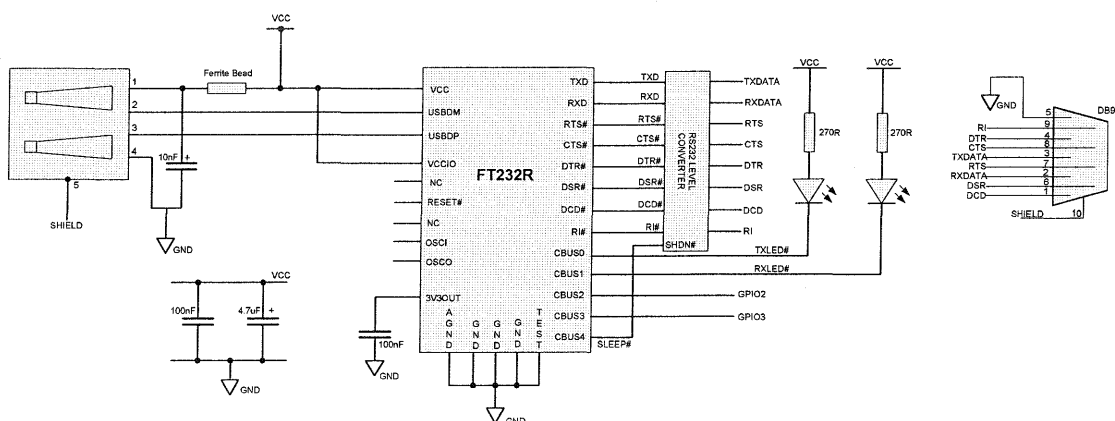
- The regulator must be capable of sustaining its output voltage with an input voltage of +4.35V. An Low Drop Out (LDO) regulator should be selected.
- The quiescent current of the regulator must be low enough to meet the total current requirement of  $\leq 2.5\text{mA}$  during USB suspend mode.

A suitable series of LDO regulators that meets these requirements is the MicroChip/Telcom (www.microchip.com) TC55 series of devices. These devices can supply up to 250mA current and have a quiescent current of under 1 $\mu\text{A}$ .

## 7 Application Examples

The following sections illustrate possible applications of the FT232R. The illustrations have omitted pin numbers for ease of understanding since the pins differ between the FT232RL and FT232RQ package options.

### 7.1 USB to RS232 Converter



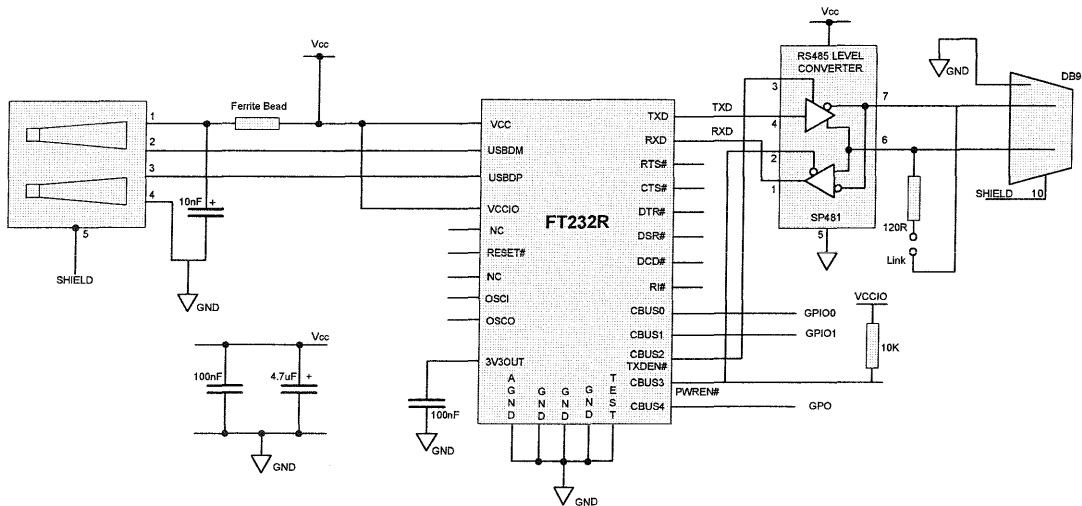
**Figure 7.1 Application Example showing USB to RS232 Converter**

An example of using the FT232R as a USB to RS232 converter is illustrated in Figure 7.1. In this application, a TTL to RS232 Level Converter IC is used on the serial UART interface of the FT232R to convert the TTL levels of the FT232R to RS232 levels. This level shift can be done using the popular "213" series of TTL to RS232 level converters. These "213" devices typically have 4 transmitters and 5 receivers in a 28-LD SSOP package and feature an in-built voltage converter to convert the +5V (nominal) VCC to the +/- 9 volts required by RS232. A useful feature of these devices is the SHDN# pin which can be used to power down the device to a low quiescent current during USB suspend mode.

A suitable level shifting device is the Sipex SP213EHCA which is capable of RS232 communication at up to 500k baud. If a lower baud rate is acceptable, then several pin compatible alternatives are available such as the Sipex SP213ECA, the Maxim MAX213CAI and the Analogue Devices ADM213E, which are all suitable for communication at up to 115.2k baud. If a higher baud rate is required, the Maxim MAX3245CAI device is capable of RS232 communication rates up to 1Mbaud. Note that the MAX3245 is not pin compatible with the 213 series devices and that the SHDN pin on the MAX device is active high and should be connect to PWREN# pin instead of SLEEP# pin.

In example shown, the CBUS0 and CBUS1 have been configured as TXLED# and RXLED# and are being used to drive two LEDs.

## 7.2 USB to RS485 Converter



**Figure 7.2 Application Example Showing USB to RS485 Converter**

An example of using the FT232R as a USB to RS485 converter is shown in Figure 7.2. In this application, a TTL to RS485 level converter IC is used on the serial UART interface of the FT232R to convert the TTL levels of the FT232R to RS485 levels.

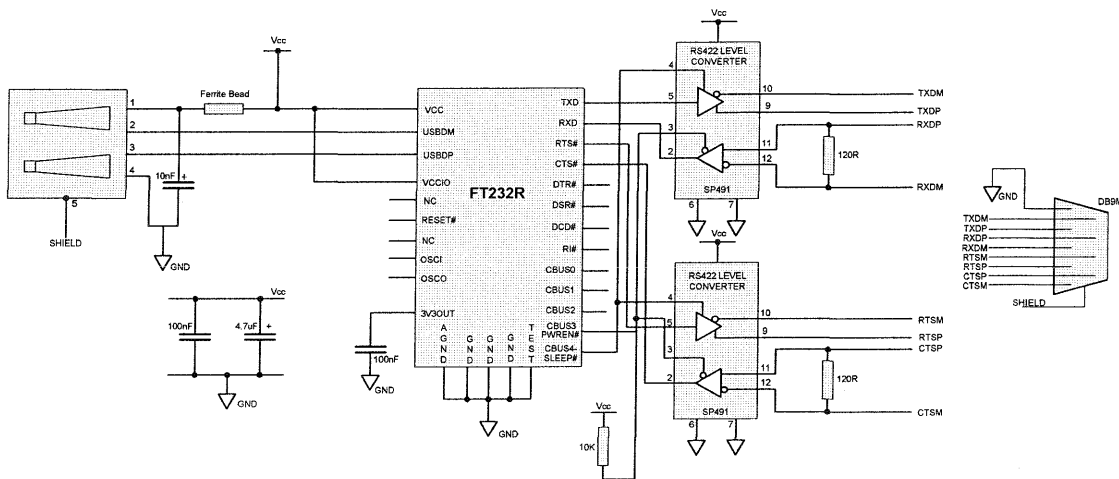
This example uses the Sipex SP481 device. Equivalent devices are available from Maxim and Analogue Devices. The SP481 is a RS485 device in a compact 8 pin SOP package. It has separate enables on both the transmitter and receiver. With RS485, the transmitter is only enabled when a character is being transmitted from the UART. The TXDEN# signal CBUS pin option on the FT232R is provided for exactly this purpose and so the transmitter enable is wired to CBUS2 which has been configured as TXDEN#. Similarly, CBUS3 has been configured as PWREN#. This signal is used to control the SP481's receiver enable. The receiver enable is active low, so it is wired to the PWREN# pin to disable the receiver when in USB suspend mode. CBUS2 = TXDEN# and CBUS3 = PWREN# are the default device configurations of the FT232R pins.

RS485 is a multi-drop network; so many devices can communicate with each other over a two wire cable interface. The RS485 cable requires to be terminated at each end of the cable. A link (which provides the 120Ω termination) allows the cable to be terminated if the SP481 is physically positioned at either end of the cable.

In this example the data transmitted by the FT232R is also present on the receive path of the SP481. This is a common feature of RS485 and requires the application software to remove the transmitted data from the received data stream. With the FT232R it is possible to do this entirely in hardware by modifying the example shown in Figure 7.2 by logically OR'ing the FT232R TXDEN# and the SP481 receiver output and connecting the output of the OR gate to the RXD of the FT232R.

Note that the TXDEN# is activated 1 bit period before the start bit. TXDEN# is deactivated at the same time as the stop bit. This is not configurable.

### 7.3 USB to RS422 Converter

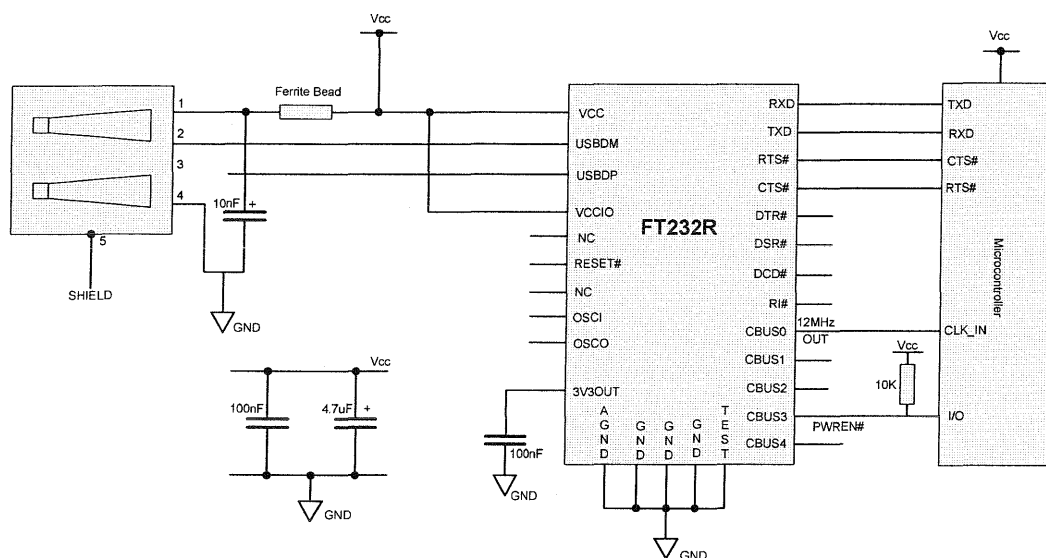


**Figure 7.3 USB to RS422 Converter Configuration**

An example of using the FT232R as a USB to RS422 converter is shown in Figure 7.3. In this application, two TTL to RS422 Level Converter ICs are used on the serial UART interface of the FT232R to convert the TTL levels of the FT232R to RS422 levels. There are many suitable level converter devices available. This example uses Sipex SP491 devices which have enables on both the transmitter and receiver. Since the SP491 transmitter enable is active high, it is connected to a CBUS pin in SLEEP# configuration. The SP491 receiver enable is active low and is therefore connected to a CBUS pin PWREN# configuration. This ensures that when both the SP491 transmitters and receivers are enabled then the device is active, and when the device is in USB suspend mode, the SP491 transmitters and receivers are disabled. If a similar application is used, but the design is USB BUS powered, it may be necessary to use a P-Channel logic level MOSFET (controlled by PWREN#) in the VCC line of the SP491 devices to ensure that the USB standby current of 2.5mA is met.

The SP491 is specified to transmit and receive data at a rate of up to 5 Mbaud. In this example the maximum data rate is limited to 3 Mbaud by the FT232R.

## 7.4 USB to MCU UART Interface



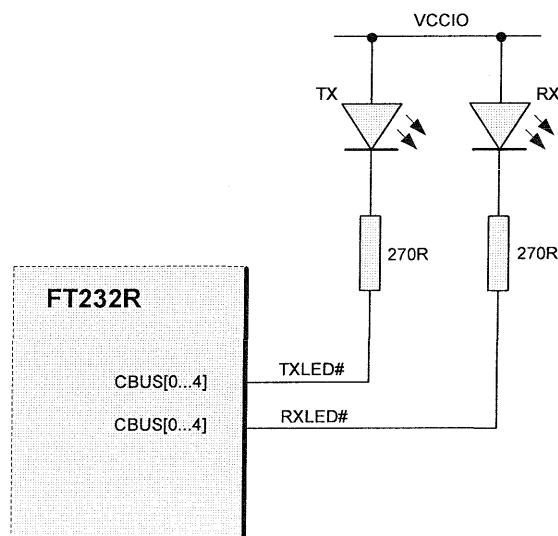
**Figure 7.4 USB to MCU UART Interface**

An example of using the FT232R as a USB to Microcontroller (MCU) UART interface is shown in Figure 7.4. In this application the FT232R uses TXD and RXD for transmission and reception of data, and RTS# / CTS# signals for hardware handshaking. Also in this example CBUS0 has been configured as a 12MHz output to clock the MCU.

Optionally, RI# could be connected to another I/O pin on the MCU and used to wake up the USB host controller from suspend mode. If the MCU is handling power management functions, then a CBUS pin can be configured as PWREN# and would also be connected to an I/O pin of the MCU.

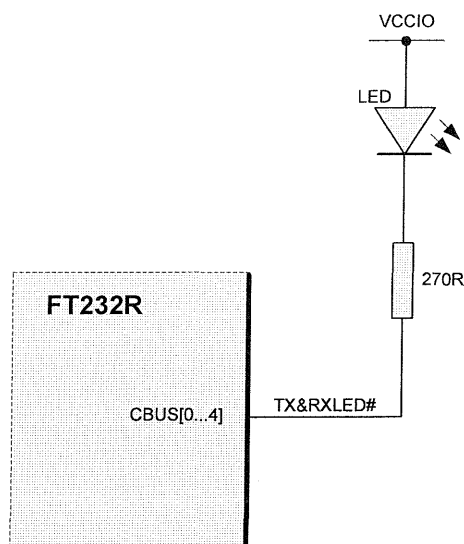
## 7.5 LED Interface

Any of the CBUS I/O pins can be configured to drive an LED. The FT232R has 3 configuration options for driving LEDs from the CBUS. These are TXLED#, RXLED#, and TX&RXLED#. Refer to Section 3.5 for configuration options.



**Figure 7.5 Dual LED Configuration**

An example of using the FT232R to drive LEDs is shown in Figure 7.5. In this application one of the CBUS pins is used to indicate transmission of data (TXLED#) and another is used to indicate receiving data (RXLED#). When data is being transmitted or received the respective pins will drive from tri-state to low in order to provide indication on the LEDs of data transfer. A digital one-shot is used so that even a small percentage of data transfer is visible to the end user.



**Figure 7.6 Single LED Configuration**

Another example of using the FT232R to drive LEDs is shown in Figure 7.6. In this example one of the CBUS pins is used to indicate when data is being transmitted or received by the device (TX&RXLED). In this configuration the FT232R will drive only a single LED.

## 8 Internal EEPROM Configuration

Following a power-on reset or a USB reset the FT232R will scan its internal EEPROM and read the USB configuration descriptors stored there. The default factory programmed values of the internal EEPROM are shown in Table 8.1.

| Parameter                         | Value           | Notes  |
|-----------------------------------|-----------------|--|
| USB Vendor ID (VID)               | 0403h           | FTDI default VID (hex)   |
| USB Product ID (PID)              | 6001h           | FTDI default PID (hex)   |
| Serial Number Enabled?            | Yes             |  |
| Serial Number                     | See Note        | A unique serial number is generated and programmed into the EEPROM during device final test.   |
| Pull down I/O Pins in USB Suspend | Disabled        | Enabling this option will make the device pull down on the UART interface lines when in USB suspend mode (PWREN# is high).                                       |
| Manufacturer Name                 | FTDI            |  |
| Product Description               | FT232R USB UART |  |
| Max Bus Power Current             | 90mA            |  |
| Power Source                      | Bus Powered     |  |
| Device Type                       | FT232R          |  |
| USB Version                       | 0200            | Returns USB 2.0 device description to the host.<br>Note: The device is a USB 2.0 Full Speed device (12Mb/s) as opposed to a USB 2.0 High Speed device (480Mb/s). |
| Remote Wake Up                    | Enabled         | Taking RI# low will wake up the USB host controller from suspend in approximately 20 ms.   |
| High Current I/Os                 | Disabled        | Enables the high drive level on the UART and CBUS I/O pins.  |
| Load VCP Driver                   | Enabled         | Makes the device load the VCP driver interface for the device.   |
| CBUS0                             | TXLED#          | Default configuration of CBUS0 – Transmit LED drive.   |
| CBUS1                             | RXLED#          | Default configuration of CBUS1 – Receive LED drive.  |
| CBUS2                             | TXDEN#          | Default configuration of CBUS2 – Transmit data enable for RS485  |
| CBUS3                             | PWREN#          | Default configuration of CBUS3 – Power enable. Low after USB enumeration, high during USB suspend mode.  |

| Parameter   | Value    | Notes   |
|-------------|----------|---|
| CBUS4       | SLEEP#   | Default configuration of CBUS4 – Low during USB suspend mode. |
| Invert TXD  | Disabled | Signal on this pin becomes TXD# if enable.                    |
| Invert RXD  | Disabled | Signal on this pin becomes RXD# if enable.                    |
| Invert RTS# | Disabled | Signal on this pin becomes RTS if enable.                     |
| Invert CTS# | Disabled | Signal on this pin becomes CTS if enable.                     |
| Invert DTR# | Disabled | Signal on this pin becomes DTR if enable.                     |
| Invert DSR# | Disabled | Signal on this pin becomes DSR if enable.                     |
| Invert DCD# | Disabled | Signal on this pin becomes DCD if enable.                     |
| Invert RI#  | Disabled | Signal on this pin becomes RI if enable.                      |

**Table 8.1 Default Internal EEPROM Configuration**

The internal EEPROM in the FT232R can be programmed over USB using the FTDI utility program MPROG. MPROG, which can be downloaded from FTDI Utilities, on the FTDI website ([www.ftdichip.com](http://www.ftdichip.com)). Version 2.8a or later is required for the FT232R chip. Users who do not have their own USB Vendor ID but who would like to use a unique Product ID in their design can apply to FTDI for a free block of unique PIDs. Contact FTDI support for this service.



## 9 Package Parameters

The FT232R is available in two different packages. The FT232RL is the SSOP-28 option and the FT232RQ is the QFN-32 package option. The solder reflow profile for both packages is described in Section 9.5.

### 9.1 SSOP-28 Package Dimensions

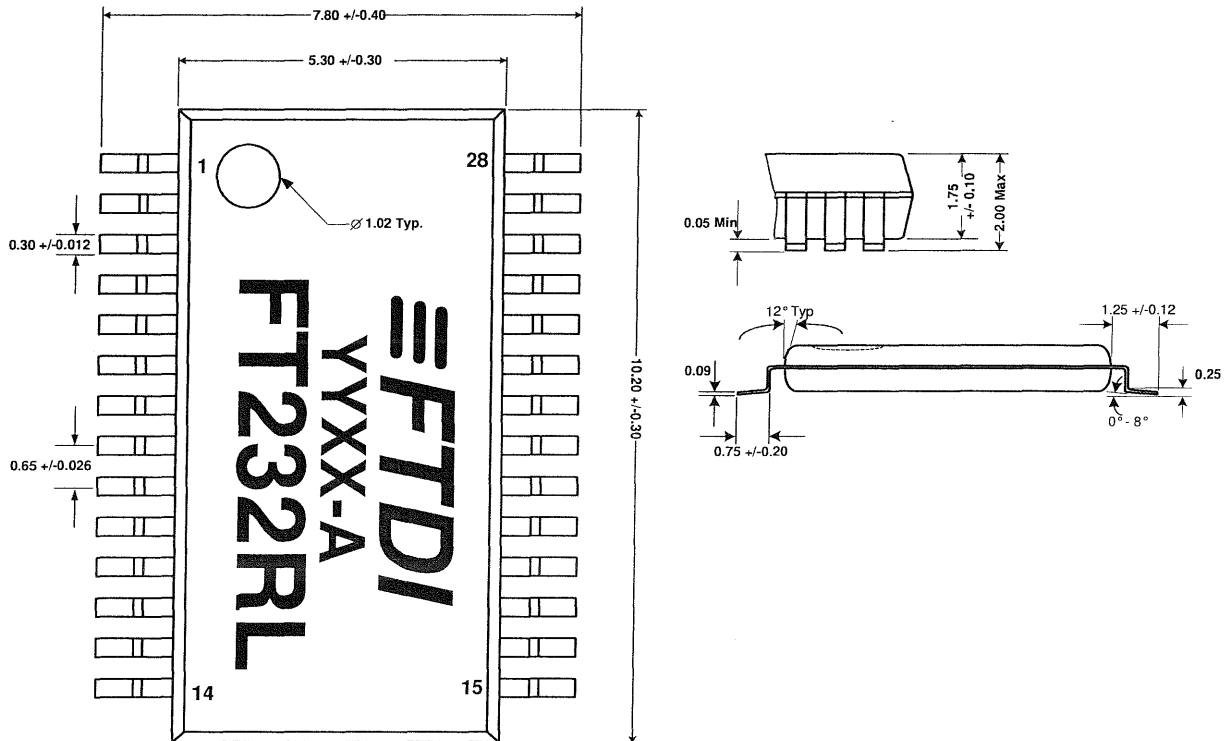


Figure 9.1 SSOP-28 Package Dimensions

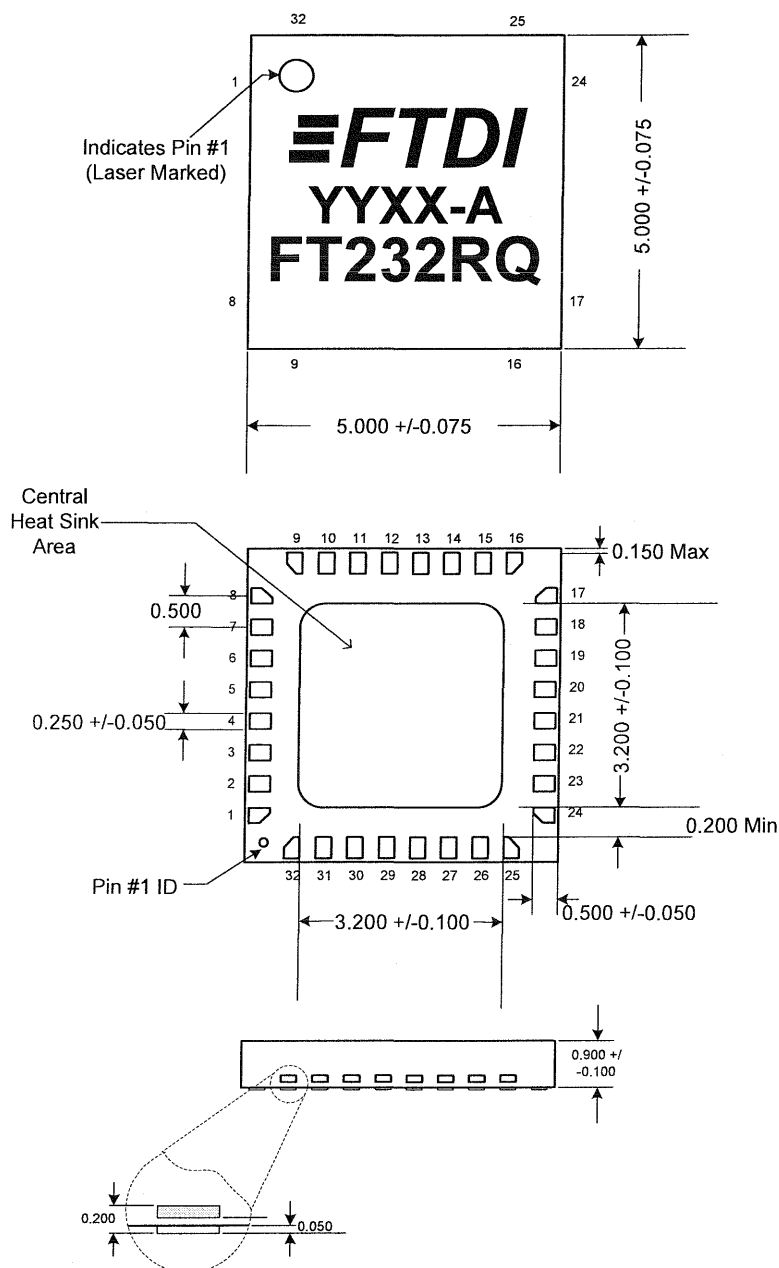
The FT232RL is supplied in a RoHS compliant 28 pin SSOP package. The package is lead (Pb) free and uses a 'green' compound. The package is fully compliant with European Union directive 2002/95/EC.

This package is nominally 5.30mm x 10.20mm body (7.80mm x 10.20mm including pins). The pins are on a 0.65 mm pitch. The above mechanical drawing shows the SSOP-28 package.

All dimensions are in millimetres.

The date code format is **YYXX** where XX = 2 digit week number, YY = 2 digit year number.

## 9.2 QFN-32 Package Dimensions



**Note: The pin #1 ID is connected internally to the device's central heat sink area . It is recommended to ground the central heat sink area of the device.**

**Dimensions in mm.**

### Figure 9.2 QFN-32 Package Dimensions

The FT232RQ is supplied in a RoHS compliant leadless QFN-32 package. The package is lead ( Pb ) free, and uses a 'green' compound. The package is fully compliant with European Union directive 2002/95/EC.

This package is nominally 5.00mm x 5.00mm. The solder pads are on a 0.50mm pitch. The above mechanical drawing shows the QFN-32 package. All dimensions are in millimetres.

The centre pad on the base of the FT232RQ is not internally connected, and can be left unconnected, or connected to ground (recommended).

The date code format is **YYXX** where XX = 2 digit week number, YY = 2 digit year number.

### 9.3 QFN-32 Package Typical Pad Layout

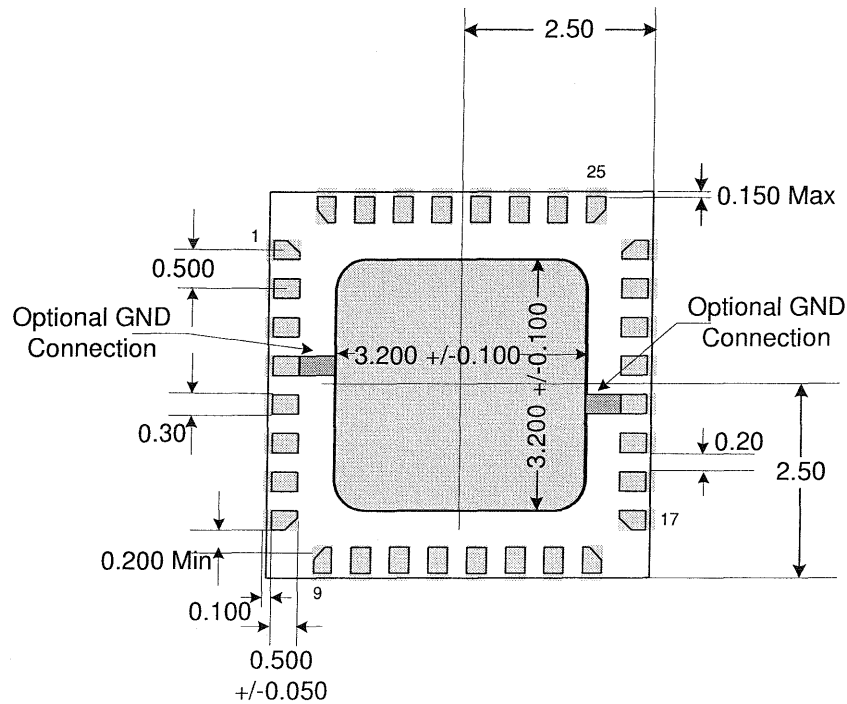


Figure 9.3 Typical Pad Layout for QFN-32 Package

### 9.4 QFN-32 Package Typical Solder Paste Diagram

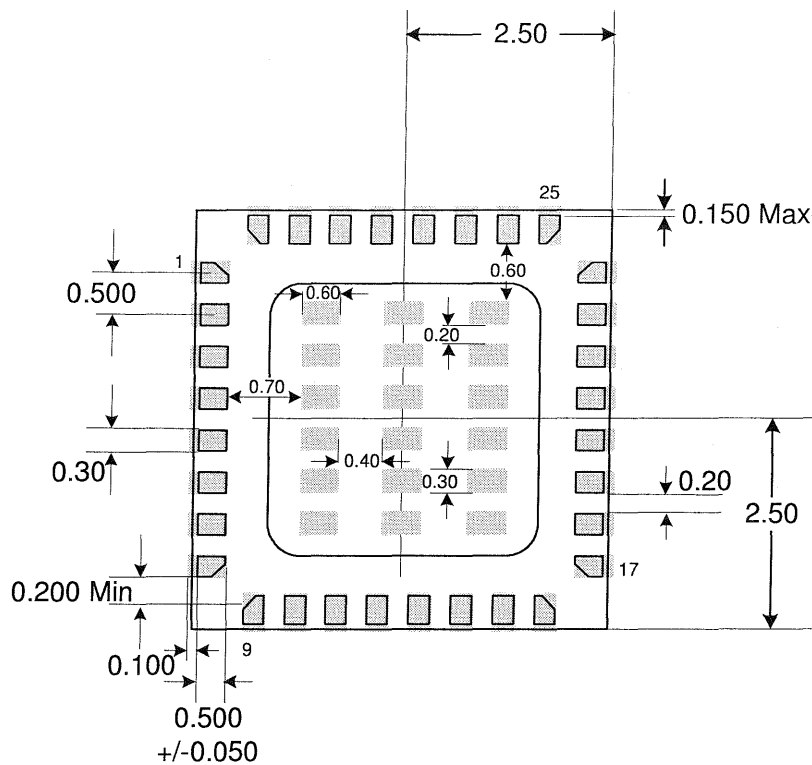


Figure 9.4 Typical Solder Paste Diagram for QFN-32 Package

## 9.5 Solder Reflow Profile

The FT232R is supplied in Pb free 28 LD SSOP and QFN-32 packages. The recommended solder reflow profile for both package options is shown in Figure 9.5.

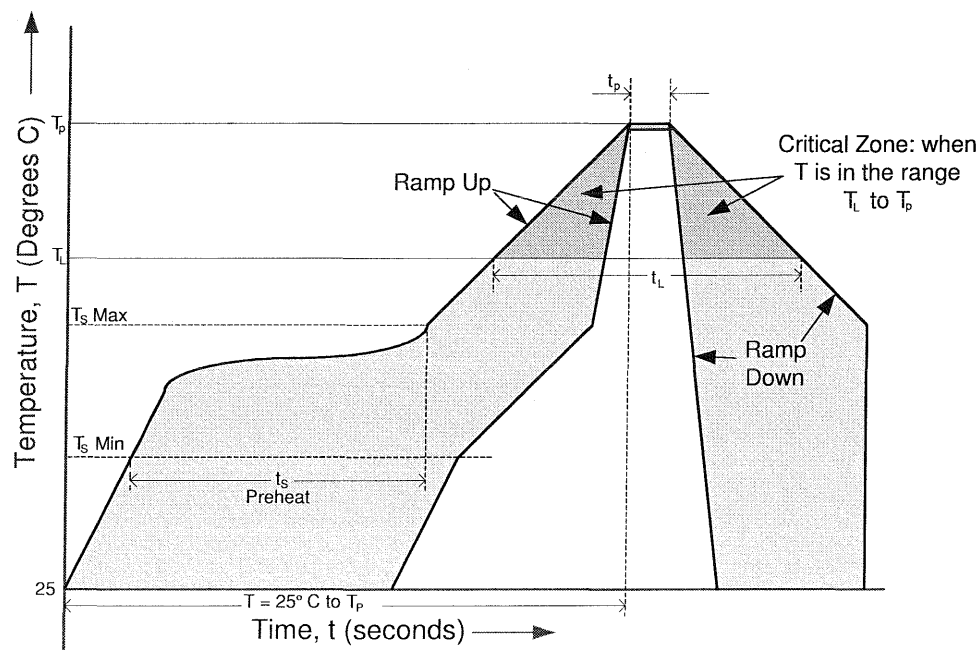


Figure 9.5 FT232R Solder Reflow Profile

The recommended values for the solder reflow profile are detailed in Table 9.1. Values are shown for both a completely Pb free solder process (i.e. the FT232R is used with Pb free solder), and for a non-Pb free solder process (i.e. the FT232R is used with non-Pb free solder).

| Profile Feature   | Pb Free Solder Process              | Non-Pb Free Solder Process          |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Average Ramp Up Rate ( $T_s$ to $T_p$ )   | 3°C / second Max.                   | 3°C / Second Max.                   |
| Preheat <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature Min (<math>T_s</math> Min.)</li> <li>- Temperature Max (<math>T_s</math> Max.)</li> <li>- Time (<math>t_s</math> Min to <math>t_s</math> Max)</li> </ul> | 150°C<br>200°C<br>60 to 120 seconds | 100°C<br>150°C<br>60 to 120 seconds |
| Time Maintained Above Critical Temperature<br>$T_L$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature (<math>T_L</math>)</li> <li>- Time (<math>t_L</math>)</li> </ul>   | 217°C<br>60 to 150 seconds          | 183°C<br>60 to 150 seconds          |
| Peak Temperature ( $T_p$ )  | 260°C                               | 240°C                               |
| Time within 5°C of actual Peak Temperature<br>( $t_p$ )   | 20 to 40 seconds                    | 20 to 40 seconds                    |
| Ramp Down Rate  | 6°C / second Max.                   | 6°C / second Max.                   |
| Time for $T = 25^\circ\text{C}$ to Peak Temperature, $T_p$  | 8 minutes Max.                      | 6 minutes Max.                      |

Table 9.1 Reflow Profile Parameter Values

## 10 Contact Information

### Head Office – Glasgow, UK

Future Technology Devices International Limited  
373 Scotland Street  
Glasgow G5 8QB  
United Kingdom  
Tel: +44 (0) 141 429 2777  
Fax: +44 (0) 141 429 2758

E-mail (Sales) [sales@ftdichip.com](mailto:sales@ftdichip.com)  
E-mail (Support) [support@ftdichip.com](mailto:support@ftdichip.com)  
E-mail (General Enquiries) [admin1@ftdichip.com](mailto:admin1@ftdichip.com)  
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>  
Web Shop URL <http://www.ftdichip.com>

### Branch Office – Taipei, Taiwan

Future Technology Devices International Limited (Taiwan)  
4F, No 18-3, Sec. 6 Mincyuan East Road  
Neihu District  
Taipei 114  
Taiwan, R.O.C.  
Tel: +886 (0) 2 8791 3570  
Fax: +886 (0) 2 8791 3576

E-mail (Sales) [tw.sales1@ftdichip.com](mailto:tw.sales1@ftdichip.com)  
E-mail (Support) [tw.support1@ftdichip.com](mailto:tw.support1@ftdichip.com)  
E-mail (General Enquiries) [tw.admin1@ftdichip.com](mailto:tw.admin1@ftdichip.com)  
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>

### Branch Office – Hillsboro, Oregon, USA

Future Technology Devices International Limited (USA)  
7235 NW Evergreen Parkway, Suite 600  
Hillsboro, OR 97123-5803  
USA  
Tel: +1 (503) 547 0988  
Fax: +1 (503) 547 0987

E-Mail (Sales) [us.sales@ftdichip.com](mailto:us.sales@ftdichip.com)  
E-Mail (Support) [us.admin@ftdichip.com](mailto:us.admin@ftdichip.com)  
Web Site URL <http://www.ftdichip.com>

### Distributor and Sales Representatives

Please visit the Sales Network page of the FTDI Web site for the contact details of our distributor(s) and sales representative(s) in your country.

## Appendix A - List of Figures and Tables

### List of Figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 2.1 FT232R Block Diagram .....  | 3  |
| Figure 3.1 SSOP Package Pin Out and Schematic Symbol .....                     | 6  |
| Figure 3.2 QFN-32 Package Pin Out and schematic symbol .....                   | 9  |
| Figure 6.1 Bus Powered Configuration .....                                     | 22 |
| Figure 6.2 Self Powered Configuration .....                                    | 23 |
| Figure 6.3 Bus Powered with Power Switching Configuration .....                | 24 |
| Figure 6.4 USB Bus Powered with +3.3V or +5V External Logic Power Supply ..... | 25 |
| Figure 7.1 Application Example showing USB to RS232 Converter.....             | 26 |
| Figure 7.2 Application Example Showing USB to RS485 Converter .....            | 27 |
| Figure 7.3 USB to RS422 Converter Configuration .....                          | 28 |
| Figure 7.4 USB to MCU UART Interface .....                                     | 29 |
| Figure 7.5 Dual LED Configuration.....   | 30 |
| Figure 7.6 Single LED Configuration .....                                      | 30 |
| Figure 9.1 SSOP-28 Package Dimensions .....                                    | 33 |
| Figure 9.2 QFN-32 Package Dimensions.....                                      | 34 |
| Figure 9.3 Typical Pad Layout for QFN-32 Package .....                         | 35 |
| Figure 9.4 Typical Solder Paste Diagram for QFN-32 Package.....                | 35 |
| Figure 9.5 FT232R Solder Reflow Profile.....                                   | 36 |

### List of Tables

|   |    |
|---|----|
| Table 3.1 USB Interface Group .....   | 6  |
| Table 3.2 Power and Ground Group.....   | 7  |
| Table 3.3 Miscellaneous Signal Group .....  | 7  |
| Table 3.4 UART Interface and CUSB Group (see note 3) .....                                  | 8  |
| Table 3.5 USB Interface Group .....   | 9  |
| Table 3.6 Power and Ground Group.....   | 10 |
| Table 3.7 Miscellaneous Signal Group .....  | 10 |
| Table 3.8 UART Interface and CBUS Group (see note 3) .....                                  | 11 |
| Table 3.9 CBUS Configuration Control.....   | 12 |
| Table 5.1 Absolute Maximum Ratings .....  | 16 |
| Table 5.2 Operating Voltage and Current .....   | 17 |
| Table 5.3 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +5.0V, Standard Drive Level) ..... | 17 |
| Table 5.4 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +3.3V, Standard Drive Level) ..... | 17 |
| Table 5.5 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +2.8V, Standard Drive Level) ..... | 18 |
| Table 5.6 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +1.8V, Standard Drive Level) ..... | 18 |
| Table 5.7 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +5.0V, High Drive Level) .....     | 18 |
| Table 5.8 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +3.3V, High Drive Level) .....     | 18 |
| Table 5.9 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +2.8V, High Drive Level) .....     | 19 |
| Table 5.10 UART and CBUS I/O Pin Characteristics (VCCIO = +1.8V, High Drive Level) .....    | 19 |
| Table 5.11 RESET# and TEST Pin Characteristics.....   | 19 |



---

|  |    |
|--|----|
| Table 5.12 USB I/O Pin (USBDP, USBDM) Characteristics .....  | 20 |
| Table 5.13 EEPROM Characteristics .....                      | 20 |
| Table 5.14 Internal Clock Characteristics.....               | 20 |
| Table 5.15 OSCI, OSCO Pin Characteristics – see Note 1 ..... | 21 |
| Table 8.1 Default Internal EEPROM Configuration .....        | 32 |
| Table 9.1 Reflow Profile Parameter Values.....               | 36 |

---

## Appendix B - Revision History

|                     |   |               |
|---------------------|---|---------------|
| <b>Version 0.90</b> | Initial Datasheet Created   | August 2005   |
| <b>Version 0.96</b> | Revised Pre-release datasheet   | October 2005  |
| <b>Version 1.00</b> | Full datasheet released   | December 2005 |
| <b>Version 1.02</b> | Minor revisions to datasheet  | December 2005 |
| <b>Version 1.03</b> | Manufacturer ID added to default EEPROM configuration; Buffer sizes added   | January 2006  |
| <b>Version 1.04</b> | QFN-32 Pad layout and solder paste diagrams added   | January 2006  |
| <b>Version 2.00</b> | Reformatted, updated package info, added notes for 3.3V operation;<br>Part numbers, TID; added UART and CBUS characteristics for +1.8V;<br>Corrected RESET#; Added MTTF data;<br>Corrected the input switching threshold and input hysteresis values for VCCIO=5V | June 2008     |
| <b>Version 2.01</b> | Corrected pin-out number in table3.2 for GND pin18.<br>Improved graphics on some Figures.<br>Add packing details. Changed USB suspend current spec from 500uA to 2.5mA<br>Corrected Figure 9.2 QFN dimensions.  | August 2008   |





